

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยไมโครโปรเซสเซอร์

นาย สมชัย สัมเจริญ
นาย สัมฤทธิ์ จักรเพ็ชรวรรณ

๑/พ.
๒๓๘๘
๒๕๓๔

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน.เดือน.ปี.....

๖๑๒๕๒๑๙๓๐

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

คณะ วิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๓๔

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ :

TEMPERATURE AND HUMIDITY CONTROL

BY MICROPROCESSOR



MR. SOMCHAI LIMCHAROEN

MR. SUMRIT JUKPETWORRAYAN



A SPACIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE

REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

DEPARTMENT OF APPLIED PHYSICS

FACULTY OF SCIENCE

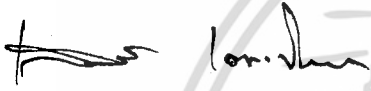
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1991

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยไมโครโปรเซสเซอร์
โดย นาย สมชัย ลี้มเจริญ
นาย สัมฤทธิ์ จักรเพ็ชรวรรณ
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. เสน่ห์ เอกะวิภาต
อ. จิต หนูแก้ว

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้ใบรายงานโครงการพิเศษฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต


(ดร. เสน่ห์ เอกะวิภาต)

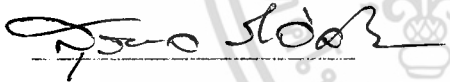
หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ



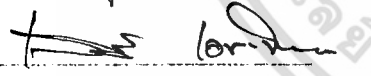
(ผศ. เจริญชัย คีตะจิตต์)

ประธานกรรมการ



(รศ. สุรพล รักvijัย)

กรรมการ


(ดร. เสน่ห์ เอกะวิภาต)

กรรมการ



กรรมการ

(อ. จิต หนูแก้ว)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยไมโครโปรเซสเซอร์
โดย นาย สมชัย ลิ่มเจริญ
นาย สัมฤทธิ์ จักรเพ็ชรารัตนา
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. เสน่ห์ เอกะวิภาต
อ. จิต หนูแก้ว
ปีการศึกษา 2534

บทคัดย่อ

ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยไมโครโปรเซสเซอร์นี้ ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ Z80 เป็นหลัก ในการวัดจะใช้ตัวตรวจจับอุณหภูมิเป็นไอซีเบอร์ LM335 และตัวตรวจจับความชื้นเป็นตัวเก็บประจุ ในการควบคุมสามารถควบคุมได้ 4 ทาง นอกจากมีระบบวัดและควบคุมแล้ว เครื่องนี้ยังสามารถจะตรวจสอบว่าอุปกรณ์ภายนอกที่มาต่อกับระบบพร้อมจะทำงานหรือไม่ด้วย

ระบบนี้สามารถแสดงผลได้ 4 ข้อมูลคือ เวลา, อุณหภูมิ, ความชื้น และ ข้อมูลที่ผ่านไประยะเวลา โดยการแสดงผลจะแสดงโดยแผงแสดงผลผลึกเหลว

Special Project Title Temperature and Humidity Control
by Microprocessor

Name Mr. Somchai Limcharoen
 Mr. Sumrit Jukpetworranyan

Special Project Advisor Dr. Sanay Akavipat
 Mr. Jiti Nukaew

Department Applied Physics

Academic Year 1991

Abstract

The system temperature and humidity control. System was controlled by Z80 microprocessor. Temperature was sensed by LM 335 . Humidity was sensed by used capacitance sensors. This system can present 4 types, time, temperature, humidity and data in RAM, on LCD display. And it can check external equipments that connected with system to know that they are ready or not.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถเสร็จสมบูรณ์ได้ ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลต่างๆ

คุณพ่อ และคุณแม่ ซึ่งคอยให้กำลังใจและให้ความอุปการะ ให้ได้รับการศึกษาจนถึงระดับอุดมศึกษา

อ. จิต หนูแก้ว และ ดร. เสน่ห์ เอกวิภาต ซึ่งคอยให้คำแนะนำปรึกษาในรายละเอียดต่างๆของการทำโครงการ และสนับสนุนในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในโครงการ

คุณ สุวิทย์ เตชะพิชญา ซึ่งคอยให้คำแนะนำเกี่ยวกับความรู้ทั่วไปทางคอมพิวเตอร์

คณะกรรมการทุกท่าน ที่ช่วยตรวจทานและแก้ไขรายงานที่เป็นฉบับสมบูรณ์นี้ และสุดท้าย ความช่วยเหลือที่ได้รับจากภาควิชา ที่ให้ยืมอุปกรณ์และเครื่องมือวัดต่างๆขณะที่ทำการทดลอง ขอขอบคุณกลุ่มบุคคลเหล่านี้ เป็นอย่างมาก

สมชัย สัมเจริญ
สัมฤทธิ์ จักรเพ็ชรวรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|-----------------------------------|------|
| บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญรูป | ง |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีความชื้นในอากาศ | 2 |
| 2.1 อากาศอัมตั่ว | 2 |
| 2.2 อากาศ | 4 |
| 2.3 การวัดค่าความชื้นในบรรยากาศ | 6 |
| 2.4 เครื่องมือวัดความชื้นของอากาศ | 9 |
| บทที่ 3 Z80 ไมโครโปรเซสเซอร์ | 12 |
| สถาปัตยกรรมของ Z80 | 12 |
| รายละเอียดของขา Z80 | 21 |
| สัญญาณเวลาของ Z80 | 24 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---------|---|----|
| บทที่ 4 | ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ | 43 |
| | Control Board | 44 |
| | I/O Board | 45 |
| | Display LCD | 47 |
| | Time base | 49 |
| | Keyboard | 51 |
| | Output Control | 52 |
| | Analog to Digital Converter | 53 |
| | Sensors | 53 |
| บทที่ 5 | ระบบการควบคุมและการทดสอบการใช้งาน | 57 |
| | 5.1 การทำงานของไมโครโปรเซสเซอร์กับการควบคุม | 57 |
| | 5.2 หลักการควบคุมและหลักการใช้งานเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น | 57 |
| | 5.3 ข้อมูลจากผลการทดลอง | 60 |
| บทที่ 6 | ประสิทธิภาพและการประยุกต์ใช้งาน | 64 |
| | 6.1 ประสิทธิภาพของเครื่อง | 64 |
| | 6.2 การประยุกต์ใช้งานในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น | 64 |
| | 6.3 ประโยชน์ของเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น | 67 |
| | 6.4 การปรับปรุงและการพัฒนา | 67 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

| | |
|--------------------|-----|
| ก. โปรแกรม Monitor | 68 |
| ข. รายละเอียดวงจร | 103 |
| ค. รายละเอียด IC | 107 |

บรรณานุกรม

115



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 2.1 ความจุไอน้ำ ณ จุดสัมผัสต่างๆ | 3 |
| รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้น | 4 |
| รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงของอากาศที่ไม่มีเสถียรภาพ | 5 |
| รูปที่ 2.4 การลดอุณหภูมิตามระดับความสูงและมีเสถียรภาพของอากาศ | 6 |
| รูปที่ 2.5 เทอร์โมมิเตอร์ตุ้มแห้งและตุ้มเปียก | 10 |
| รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของ ไมโครโปรเซสเซอร์ | 13 |
| รูปที่ 3.2 รีจิสเตอร์ของ Z80 | 16 |
| รูปที่ 3.3 โครงสร้างของรีจิสเตอร์แฟลค | 17 |
| รูปที่ 3.4 แสดงขาสัญญาณต่างๆของ Z80 ไมโครโปรเซสเซอร์ | 21 |
| รูปที่ 3.5 สัญญาณเวลาของการเพทออปโค้ด | 25 |
| รูปที่ 3.6 สัญญาณเวลาของการเพทซ์ออปโค้ดชนิดมีสภาวะคอย | 26 |
| รูปที่ 3.7 สัญญาณเวลาของการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ | 28 |
| รูปที่ 3.8 สัญญาณเวลาของการอ่านข้อมูลในกรณีที่มีสภาวะการคอย | 29 |
| รูปที่ 3.9 สัญญาณเวลาของการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำ | 30 |
| รูปที่ 3.10 สัญญาณเวลาของการเขียนข้อมูลในกรณีที่มีสภาวะคอย | 31 |
| รูปที่ 3.11 สัญญาณเวลาของการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุต | 32 |
| รูปที่ 3.12 สัญญาณเวลาของการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ I/O ในกรณีที่มีสภาวะคอย. | 33 |
| รูปที่ 3.13 สัญญาณเวลาการตอบสนองต่อการอินเทอร์รับ | 34 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดมาตรฐาน เคเบิลในโหมด

| | | |
|-------------------|---|----|
| รูปที่ 3.14 | แสดงสัญญาณการตอบสนองต่อการอินเทอร์รับ | 35 |
| | ชนิดของมาตรฐาน เคเบิล | |
| รูปที่ 3.15 | สัญญาณเวลาของการตอบสนองต่อการขอใช้บัล | 40 |
| รูปที่ 3.16 | สัญญาณเวลาของการหยุด | 41 |
| รูปที่ 3.17 | สัญญาณเวลาของการรีเซ็ต | 42 |
| รูปที่ 4.1 | block diagram แสดงส่วนประกอบต่างๆของระบบ ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ | 43 |
| รูปที่ 4.2 | ภาพแสดงลักษณะของ Control Board | 45 |
| รูปที่ 4.3 | ภาพแสดงลักษณะของ I/O Board | 46 |
| รูปที่ 4.4 | การต่อ Display เข้ากับชุด Control Board | 48 |
| รูปที่ 4.5 | วงจร Time base | 49 |
| รูปที่ 4.6 | การต่อ Keyboard เข้ากับระบบ | 51 |
| รูปที่ 4.7 | วงจรส่วน Output Control และการต่อเข้ากับระบบ | 52 |
| รูปที่ 4.8 | วงจรของตัววัดอุณหภูมิ LM 335 | 55 |
| รูปที่ 4.9 | วงจร R-C Oscillator | 55 |
| รูปที่ 4.10 | Block Diagram ของวงจรภายในตัววัดและการต่อใช้งาน | 56 |
| รูปที่ 5.1 | แผนผังแสดงการใช้งานเป็นมิเตอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิ | 57 |
| รูปที่ 5.2 | แผนผังแสดงการต่อใช้งานของอุปกรณ์ภายนอก | 58 |
| รูปที่ 5.3 | แสดงการต่ออุปกรณ์ควบคุมความชื้น | 59 |
| รูปกราฟรูปที่ 5.1 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาตั้งแต่ 0.00 น. - 24.00 น. | 61 |
| รูปกราฟรูปที่ 5.2 | แสดงการควบคุมความชื้นระหว่างเวลา 8.00-11.29 | 62 |
| รูปกราฟรูปที่ 5.3 | แสดงการควบคุมความชื้นระหว่างเวลา 11.30-14.30 | 62 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ :

| | | |
|------------|---|----|
| รูปที่ 6.1 | แสดงการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยตรง | 65 |
| รูปที่ 6.2 | แสดงการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่ขึ้นกับอุปกรณ์ภายนอก | 65 |
| รูปที่ 6.3 | แสดงระบบการควบคุมอุณหภูมิ | 66 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีได้เจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว ทำให้มนุษย์ในโลกปัจจุบันมีความเป็นอยู่ที่สะดวกสบาย มีความต้องการสิ่งใดก็สามารถประดิษฐ์คิดค้นขึ้นได้ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องมือในการควบคุมระบบการผลิต ทั้งทางด้านอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ทำให้ความเป็นอยู่ของมนุษย์ในปัจจุบันไม่ต้องพึ่งพาสิ่งต่างๆที่เป็นผลผลิตจากธรรมชาติมากนัก ซึ่งจะเห็นได้ชัดจากผลิตผลทางการเกษตร สามารถให้ผลผลิตนอกฤดูกาล หรือให้ผลผลิตที่สูงกว่าปกติ มีการย้ายถิ่นที่ปลูกเลี้ยง โดยมีการควบคุมอากาศ และสภาพแวดล้อม ซึ่งได้แก่ น้ำ ปุ๋ย แสง ความชื้น อุณหภูมิ และอาหาร ซึ่งสิ่งต่างๆเหล่านี้ถ้าสามารถควบคุมได้ก็เท่ากับมนุษย์นั้นต้องการผลิตผลจาก พืชและสัตว์เมื่อไรและสถานที่ใดก็ได้

ดังนั้นจึงมีการประดิษฐ์คิดค้น ระบบการควบคุมอากาศและสภาพแวดล้อมที่เป็นความต้องการของพืชและสัตว์ โดยส่วนมากจะเป็นของต่างประเทศ ซึ่งมีราคาที่สูง จึงไม่เป็นนิยมสำหรับเกษตรกรบ้านเรา

โครงงานวิจัยเรื่อง ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นโครงงานที่จะควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในระบบหนึ่งๆให้เป็นไปตามค่าที่ได้ตั้งไว้ ซึ่งแฟคเตอร์ อุณหภูมิ และความชื้น นี้มีความสำคัญมากต่อ การปลูกพืช และเลี้ยงสัตว์ จึงเป็นประโยชน์มากสำหรับเกษตรกรที่สนใจจะนำเอาเทคโนโลยีไปพัฒนาผลผลิตของตนเองจากราคาไม่แพงนัก เมื่อเทียบกับของต่างประเทศ นอกจากนี้ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานควบคุมทางด้านอุตสาหกรรมได้อีกมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีความชื้นในบรรยากาศ

ความชื้นในบรรยากาศคือไอน้ำที่แทรกตัวอยู่ในช่องว่างของอากาศ ไอน้ำนี้มาจากแหล่งน้ำต่างๆ บนพื้นผิวโลกระเหยกลายเป็นไอเมื่อได้รับความร้อน ความที่ทาให้น้ำเปลี่ยนสถานะ เรียกว่า ความร้อนแฝง น้ำ 1 กรัมเมื่อระเหยกลายเป็นไอต้องใช้ความร้อนแฝง 600 แคลอรี ส่วนน้ำแข็ง 1 กรัม เปลี่ยนสถานะเป็นน้ำต้องใช้ความแฝง 80 แคลอรี ความร้อนแฝงนี้จะไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่ม แต่เมื่อไอน้ำกลั่นตัว กลายเป็นน้ำเปลี่ยนสถานะ เป็นน้ำแข็ง ความร้อนแฝงนี้จะถูกปล่อยออกมา

เมื่ออากาศเย็นลง ไอน้ำในอากาศจะกลั่นตัวทำให้เกิดปรากฏการณ์ธรรมชาติต่างๆ เช่น เมฆ หมอก น้ำค้าง ฝน และพายุฟ้าคะนอง ซึ่งมีผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์มาก ดังนั้น การเข้าใจเรื่องความชื้น ในบรรยากาศจึงเป็นเรื่องสำคัญในการศึกษาลักษณะอากาศ

2.1 อากาศอิ่มตัว (SATURATED)

ไอน้ำในอากาศมีจำนวนไม่แน่นอน ผันแปรไปตามเวลาและสถานที่ เขตหนาวแถบขั้วโลกจะมีปริมาณไอน้ำน้อยกว่าเขตร้อนย์สูตร เพราะน้ำระเหยได้น้อยกว่าปริมาณไอน้ำเป็นน้ำหนักต่อปริมาตรของอากาศ คือกรัม/ลูกบาศก์เมตร อากาศก้อนหนึ่งๆสามารถรับไอน้ำได้จำกัด เมื่ออากาศรับไอน้ำไว้เต็มที่แล้ว เรียกว่า อากาศอิ่มตัว (SATURATED) ถ้ามีไอน้ำเพิ่มขึ้นอีกหรืออากาศเย็นตัวลง ไอน้ำจะกลั่น

ตัวอากาศจะร้อนสามารถรับไอน้ำได้มากกว่าอากาศเย็น ดังนั้นอากาศที่ร้อนขึ้นทุก ๆ องศาเซนเซียส หมายถึงอากาศนั้นสามารถรับไอน้ำได้มากขึ้นนั่นเอง

ตามปกติอากาศจะไม่อึดตัว แต่ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงกล่าวคือ ถ้าอากาศก่อนนั้นเย็นตัวลง อากาศนั้นจะอึดตัวไอน้ำจะกลั่นตัวเป็นละอองน้ำ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจน คือการหายใจรดกระຈก หรือลมหายใจในฤดูหนาวเป็นควันที่เป็น เช่นนี้เพราะอากาศที่กระຈก หรืออากาศภายนอกร่างกายในฤดูหนาวเย็นกว่าอุณหภูมิภายในร่างกาย ไอน้ำที่ออกมากับลมหายใจจึงกลั่นตัวเป็นละอองน้ำเล็กๆ ปรากฏเป็นฝ้าบนกระຈก หรือควันออกจากปาก

| Temperature | 51.1 | 30.1 | 17.3 | 9.1 | 4.9 |
|--------------|------|------|------|------|------|
| 104°F (40°C) | 100% | 55% | 30% | 18% | 10% |
| 86°F (30°C) | * | 100% | 57% | 31% | 16% |
| 68°F (20°C) | * | * | 100% | 54% | 28% |
| 50°F (10°C) | * | * | * | 100% | 52% |
| 32°F (0°C) | * | * | * | * | 100% |

รูปที่ 2.1 ความจุไอน้ำ ณ จุดความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ

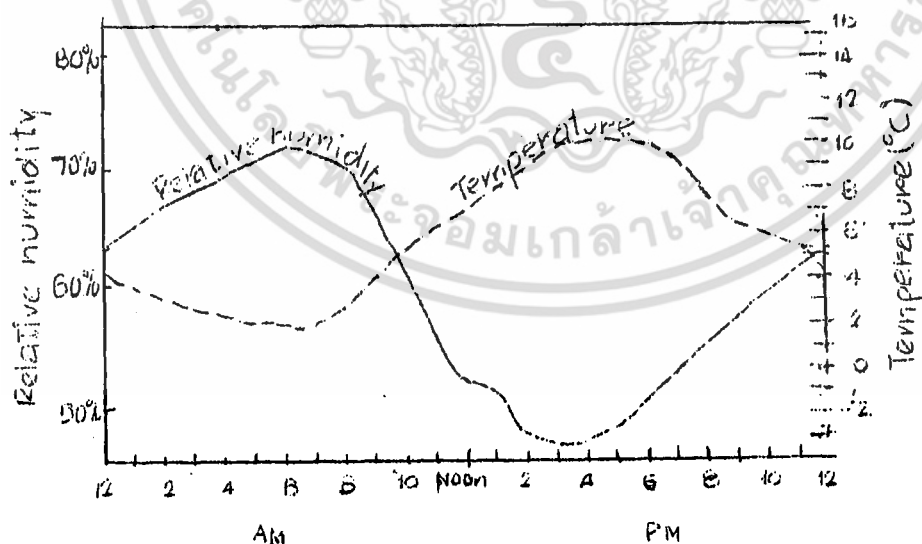
ในทางตรงกันข้าม ถ้าอากาศอึดตัวก่อนหนึ่งได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น ความอึดตัวก็จะหมดไปสามารถรับไอน้ำเพิ่มได้อีก กลายเป็นอากาศไม่อึดตัวจาก เหตุผลนี้ ทำให้เราสามารถอธิบายได้ถึงสาเหตุที่ทำให้เขตอับลมเป็นเขตเงาฝน

เพราะ เมื่อมวลอากาศชั้นยกตัวสูงขึ้น อุณหภูมิลดลงทำให้อากาศอึดตัวไอน้ำในอากาศจึงกลั่นตัวเป็นฝนบริเวณด้านรับลม ด้านอับลมอากาศจะไหลลงทับถมกันจนแน่น ความร้อนเพิ่มขึ้น การกลั่นตัวของไอน้ำไม่มี เขตนี้จึงเป็นเขตแห้งแล้ง

โดยปกติอุณหภูมิของอากาศจะลดลงตามระดับความสูงในอัตรา 3.2 องศาฟาเรนไฮต์ต่อความสูง 1000 ฟุต ในเขตบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ซึ่งเรียกอัตราการลดอุณหภูมินี้ว่า LAPSE RATE แต่ถ้ามวลอากาศที่ไม่อึดตัวก่อนหนึ่งยกตัวสูงขึ้นหรือต่ำลง อัตราการลดอุณหภูมิจจะมีค่า 5.5 องศาฟาเรนไฮต์ต่อความสูง 1000 ฟุต (1c /100 เมตร) ค่านี้เราเรียกว่า DRY ADIABATIC LAPSE RATE ค่านี้จะมีผลต่อความแปรปรวนของอากาศ ซึ่งหมายถึงอากาศมีเสถียรภาพหรือไม่มีเสถียรภาพด้วย

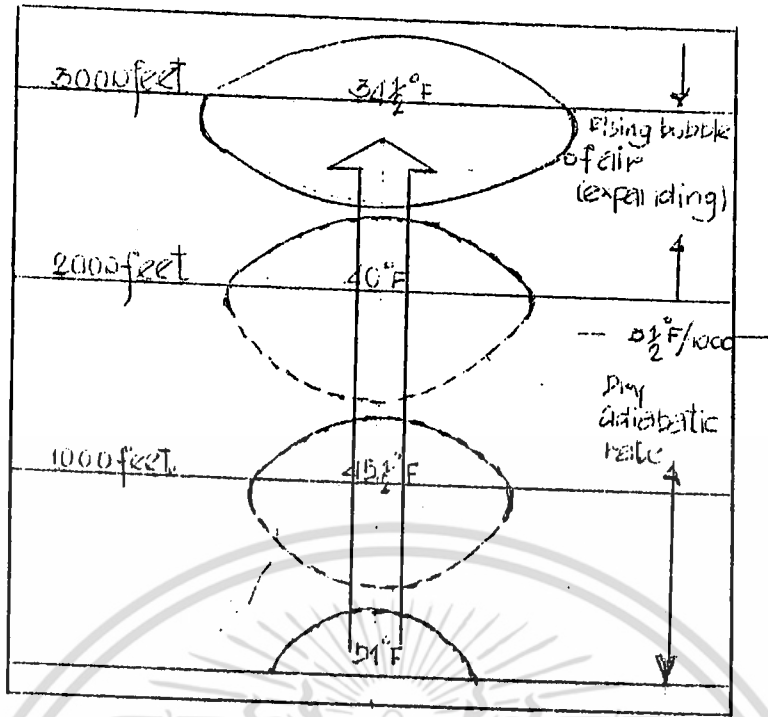
2.2 อากาศมีเสถียรภาพและอากาศไม่มีเสถียรภาพ (STABILITY AND INSTABILITY)

เมื่อก่อนอากาศที่ผิวโลกได้รับความร้อน ก้อนอากาศนั้นจะลอยตัวขึ้น เพราะอากาศขยายตัวมีน้ำหนักเบากว่าอากาศโดยรอบ การลอยตัวก้อนอากาศนั้นจะไปได้



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



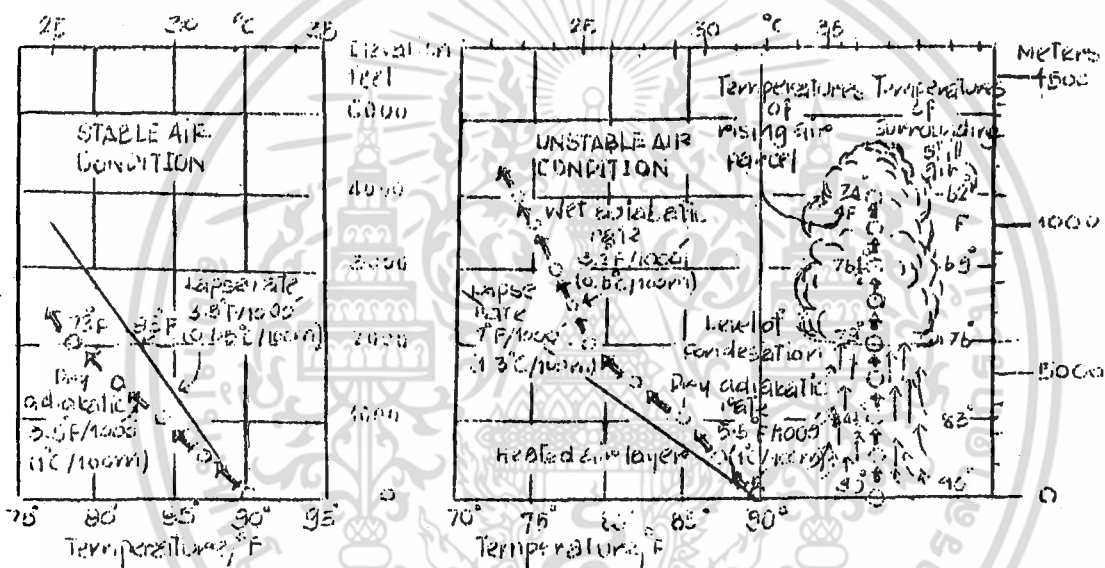
รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศที่ไม่มีเสถียรภาพ

สูงเพียงไรก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศโดยรอบ ตัวอย่าง สมมุติอากาศก้อนหนึ่งอยู่ที่ผิวพื้นนาลอุณหภูมิ 50 องศาฟาเรนไฮท์ ที่ระดับความสูง 1000 ฟุต อุณหภูมิ 44 องศาฟาเรนไฮท์ ถ้าอากาศก้อนนี้ได้รับความร้อนเพิ่มเป็น 51 องศาฟาเรนไฮท์ ก็จะเริ่มลอย อุณหภูมิของอากาศก้อนนั้นจะลดลง 5.5 องศาฟาเรนไฮท์/1000 ฟุต ดังนั้น เมื่อลอยมาที่ระดับสูง 1000 ฟุต อุณหภูมิจะเหลือ $51 - 5.5 = 45.5$ องศาฟาเรนไฮท์ ซึ่งร้อนกว่าอากาศโดยรอบในระดับเดียวกับ 1.5 องศาฟาเรนไฮท์ อากาศก้อนนั้นจะลอยตัวขึ้นไปอีกลักษณะบรรยากาศเช่นนี้ เราเรียกว่าไม่มีเสถียรภาพ แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าคือ สมมุติว่าที่ระดับความสูง 1000 ฟุตนั้น มีอุณหภูมิ 47 องศาฟาเรนไฮท์ แต่อุณหภูมิของก้อนอากาศมีเพียง 45.5 องศาฟาเรนไฮท์ ซึ่งเย็นกว่าและหนักกว่าอากาศก้อนนั้นก็จะตกลงมาที่เดิม ในสภาพเช่นนี้ เราเรียกว่าบรรยากาศมีเสถียรภาพ

เสถียรภาพของมวลอากาศจึงขึ้นอยู่กับอัตราการลดอุณหภูมิตามระดับความสูงของอากาศ (LAPSE RATE) ถ้าอัตรานี้น้อยกว่าอัตราการลดอุณหภูมิของ

มวลอากาศเมื่อลอยขึ้น มวลอากาศนั้นจะมีเสถียรภาพ แต่ถ้าอัตราการลดอุณหภูมิตามระดับความสูงมีมากกว่า มวลอากาศจะไม่มีเสถียร เช่น มวลอากาศในบริเวณความกดอากาศต่ำหรือพายุไซโคลน

อากาศที่ใหม่มีตัวก็คืออากาศแห้ง เมื่อยกตัวขึ้นในบางระดับจะเย็นลงจนถึงจุดน้ำค้าง กลายเป็นอากาศอิ่มตัว ไอน้ำจะกลั่นตัวเป็นละอองไอน้ำเป็นเมฆ การยกตัวของก้อนอากาศในระยะนี้ อัตราการลดอุณหภูมิมีค่า 3 องศาฟาเรนไฮต์/1000 ฟุต เราเรียกว่า SATURATE ADIABATIC RATE หรือ WET ADIABATIC RATE



รูปที่ 2.4 การลดอุณหภูมิตามระดับความสูงและมีเสถียรภาพของอากาศ

2.3 การวัดค่าความชื้นในบรรยากาศ

การวัดปริมาณไอน้ำในอากาศเพื่อทราบว่า อากาศมีความชื้นมากน้อยเพียงใดกำหนดได้หลายวิธี ดังนี้

- ความชื้นแท้ (ABSOLUTE HUMIDITY)
- ความชื้นสัมพัทธ์ (RELATIVE HUMIDITY)
- ความชื้นจำเพาะ (SPECIFIC HUMIDITY)

จุดน้ำค้าง (DEW POINT)

เรโซผสมส่วน (MIXING RATIO)

2.3.1 ความชื้นแท้เป็นน้ำหนักของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศขณะใดขณะหนึ่งคิดเป็นกรัม/ลูกบาศก์เมตร เช่น 9.3 กรัม/ลูกบาศก์เมตร

ความชื้นแท้เป็นปัจจัยแรกในการพิจารณา ลักษณะภูมิอากาศของโลกตั้งแต่ขั้วโลกถึงเขตรศูนย์สูตรว่าโลกจะได้รับปริมาณน้ำฟ้าเท่าใด

2.3.2 ความชื้นสัมพัทธ์เป็นอัตราส่วนของความชื้นแท้ ที่มีอยู่ในอากาศขณะหนึ่งและปริมาณไอน้ำมากที่สุด ที่อากาศนั้นจะรับไว้ได้ ในอุณหภูมิเดียวกัน คิดเป็นลส่วนร้อย

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์} = \frac{\text{ความชื้นแท้}}{\text{ความชื้นอย่างมากที่สุดที่อากาศจะรับไว้ได้ในอุณหภูมินี้}} \times 100$$

ตัวอย่าง อากาศร้อนก่อนหนึ่งอุณหภูมิ 50 องศาฟาเรนไฮท์จะอิ่มตัวเมื่อได้รับไอน้ำ 9.4 กรัม/ลูกบาศก์เมตร ถ้าอากาศก่อนนี้มีไอน้ำเพียง 4.7 กรัม/ลูกบาศก์เมตร ความชื้นสัมพัทธ์ จะมีค่าเท่าใด

ค่าความชื้นสัมพัทธ์ = $4.7/9.4 \times 100 = 50\%$ แสดงว่าไอน้ำในอากาศมีเพียงครึ่งหนึ่งที่อากาศในอุณหภูมินั้นจะรับไว้ได้

ค่าความชื้นสัมพัทธ์ไม่คงที่ แต่จะสัมพันธ์กับอุณหภูมิ อากาศร้อนจะรับไอน้ำได้มากกว่าอากาศเย็น เพราะปริมาตรของอากาศขยายมากกว่า ในเวลากลางวันค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศจะต่ำกว่ากลางคืน น้ำค้างจึงเกิดในเวลากลางคืน

อากาศที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ เรียกว่าอากาศแห้ง ในวันที่อากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ทั้งนี้เราจะรู้สึกสบาย กระฉับกระเฉงร่าเริง เพราะไอน้ำระเหยได้ง่าย เช่นในฤดูหนาวของไทย แต่ถ้าอากาศร้อนขึ้นเราจะรู้สึกอบอ้าว อึดอัด อากาศเช่นนี้ทำให้คนเกียจคร้าน การปรับอากาศจึงเป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่พยายามปรับอุณหภูมิ และความชื้นของอากาศให้เหมาะสมกับความต้องการของร่างกาย ค่าความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการเกิดปรากฏการณ์ของลมฟ้าอากาศมาก การกลั่นตัวของไอน้ำในรูปของเมฆ หมอก ฝน มีความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ ถ้าค่านี้สูงการกลั่นตัวจะเกิดได้ง่าย นอกจากนี้ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ยังมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราและแมลงต่างๆ โดยเฉพาะ เชื้อราเติบโตได้เร็วมาก เมื่ออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงประมาณ 80-90 %

2.3.3 ความชื้นจำเพาะ เป็นอัตราส่วนของน้ำหนักไอน้ำในอากาศในขณะนั้น เป็นกรัมต่อน้ำหนักอากาศ 1 กิโลกรัม (รวมน้ำไอน้ำด้วย)

$$\text{ความชื้นจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักไอน้ำในอากาศขณะนั้นเป็นกรัม}}{\text{น้ำหนักของอากาศ (รวมไอน้ำ) 1 กิโลกรัม}}$$

ค่าความชื้นจำเพาะของอากาศคงที่เสมอ แม้อุณหภูมิหรือปริมาตรของอากาศจะเปลี่ยนแปลงไปจึงมีประโยชน์ในการอธิบายลักษณะความชื้นของมวลอากาศบนพื้นผิวโลก เช่น อากาศแถบขั้วโลกในฤดูหนาวมีค่าความชื้นจำเพาะ 0.2 กรัม/อากาศ 1 กิโลกรัม

2.3.4 จุดน้ำค้าง เป็นอุณหภูมิที่อากาศในขณะนั้นจะอึมตัวด้วยไอน้ำเมื่อเย็นลง โดยความกดอากาศไม่เปลี่ยนแปลง เช่น อากาศในขณะนั้นมีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปรากฏว่ามีไอน้ำเพียง 17.5 กรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นปริมาณไอน้ำที่อากาศอุณหภูมิตั้งที่ 20 องศาเซลเซียส จะรับไว้ได้มากที่สุด ฉะนั้นอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จึงเป็นจุดน้ำค้าง นั่นคือ เมื่ออากาศเย็นลงจนถึงอุณหภูมิตั้งที่ 20 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องศาเซนเซียส จะอึดตัวและถ้าเขียนลงไปอีกไอ้หน้าจะกลั่นตัว เป็นหมอกหรือน้ำค้างได้

จุดน้ำค้างจึงแสดงถึงความชื้นหรือความแห้งของอากาศในขณะหนึ่งทราบได้จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิอากาศในขณะนั้น ถ้าต่างกันมาก เช่น อุณหภูมิอากาศ 35 องศาเซนเซียส จุดน้ำค้าง 15 องศาเซนเซียส ต่างกันถึง 20 องศาเซนเซียส แสดงว่าอากาศแห้งมาก มีไอน้ำเพียงเท่าปริมาณไอน้ำที่อากาศอุณหภูมิ 15 องศาเซนเซียส จะรับไว้ได้มากที่สุดเท่านั้น แต่ถ้าจุดน้ำค้างเป็น 33 องศาเซนเซียส ก็แสดงว่าอากาศนั้นเกลี้ยงจะอึดตัว การกลั่นตัวเป็นเมฆ หมอก จะเกิดขึ้นได้ง่าย

2.3.5 เราใช้ผสมส่วน คืออัตราส่วนน้ำหนักของไอน้ำเป็นต่อน้ำหนักของอากาศแห้ง 1 กิโลกรัม

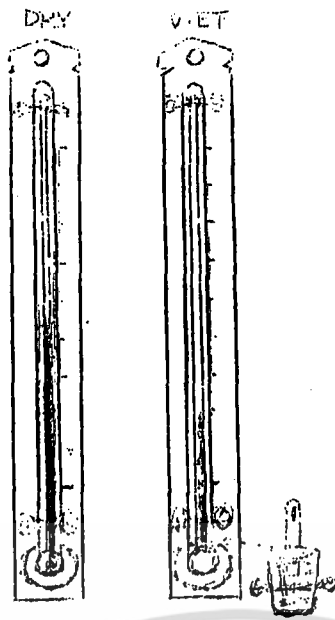
$$\text{เราใช้ผสมส่วน} = \frac{\text{น้ำหนักไอน้ำในอากาศ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักของอากาศแห้ง (1 กิโลกรัม)}}$$

2.4 เครื่องมือวัดความชื้นของอากาศ

การวัดความชื้นในอากาศจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า ไฮโกรมิเตอร์ (HYGROMETER) ซึ่งมีอยู่หลายแบบ ดังนี้

2.4.1 เทอร์โมมิเตอร์ตุ้มแห้งและเทอร์โมมิเตอร์ตุ้มเปียก เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้กันทั่วไปเพราะสะดวกและใช้ง่าย เทอร์โมมิเตอร์ตุ้มแห้งก็คือเทอร์โมมิเตอร์ธรรมดาที่ติดตั้งในเรือนเทอร์โมมิเตอร์ ส่วนเทอร์โมมิเตอร์ตุ้มเปียกนั้นที่ตุ้มบรรจุมีถุงผ้าฝ้ายชุบ รัดคอด้วยด้ายดิบ ปลายด้านข้างหนึ่งจุ่มลงในถ้วยใส่น้ำ น้ำจะซึมผ่านด้ายดิบมายังถุงผ้า ทำให้ผ้าเปียกเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 เทอร์โมมิเตอร์ดุ่มแห้งและดุ่มเปียก

หลักการของเทอร์โมมิเตอร์ดุ่มเปียกก็คือ น้ำที่ชุ่มผ้ามีสลิ้นจะระเหยตลอดเวลา ถ้าอากาศแห้งมากการระเหยก็มีมาก ดุ่มปรอทจะ เย็นลงมากเช่นเดียวกันอุณหภูมิก็น่าจะต่ำ ถ้าอากาศชื้นมาก อากาศรับไอน้ำได้น้อย การระเหยจะน้อย ดุ่มปรอทจะ เย็นเพียงเล็กน้อยอุณหภูมิก็น่าจะไม่ต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิดุ่มแห้งและดุ่มเปียกแล้ว จากค่าความแตกต่างของอุณหภูมินี้ เราใช้ตารางบอกค่าความชื้นเพื่อแปลเป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์ ความจุไอน้ำหรือจุดน้ำค้างได้

เทอร์โมมิเตอร์ชนิดดุ่มแห้งและดุ่มเปียกนี้ ถ้านำมาติดบนแผงเป็นคู่แผงนี้แกว่งได้รอบๆ เพื่อให้อากาศผ่านได้ทำให้การระเหยถูกต้องยิ่งขึ้น ในการตรวจจะต้องแกว่ง เครื่องนี้ให้หมุนรอบๆ ตามความเร็วและจำนวนรอบที่กำหนด จึงอ่านอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์ทั้งสองได้ เครื่องชนิดนี้เรียกว่า ไฮโครมิเตอร์ (PSYCHROMETER)

2.4.2 ไฮโกรมิเตอร์เส้นผม (HAIR HYGROMETER) เครื่องมือนี้จะใช้เส้นผมคนเป็นหลัก เพราะปรากฏว่า เส้นผมคนเมื่อพอกน้ำมันออกจนหมดจะยึดหดสัมพันธ์กับความชื้นในอากาศ อากาศที่ชื้นมากเส้นผมจะยึดมากอากาศที่น้อยหรือแห้ง เส้นผมจะหด จึงใช้เป็นเครื่องวัดความชื้นในอากาศได้ดี ถ้าเป็นชนิดที่บันทึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาผลการตรวจวัดความชื้นลงบนกระดาษกราฟติดต่อกันตลอดเวลา 24 ชั่วโมง
เรียกว่า ไฮโกรกราฟ (HYGROGRAPH)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

Z80 ไมโครโปรเซสเซอร์

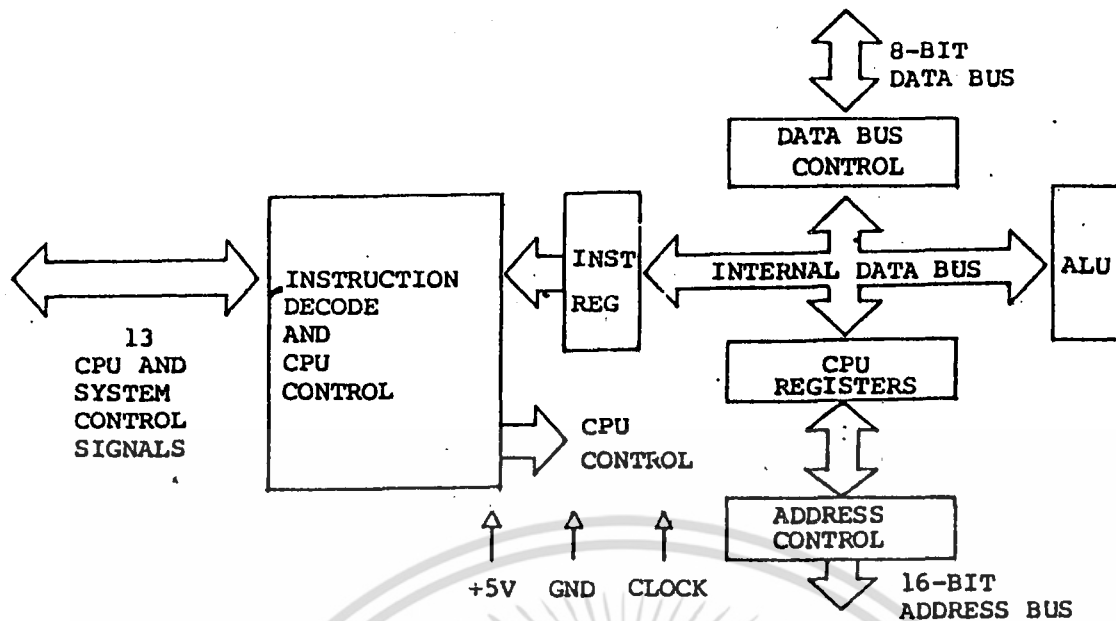
โดยทั่วไปโครงสร้างพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ จะประกอบไป

ด้วย

- หน่วยควบคุม (Control Unit)
- หน่วยความจำ (Memory Unit)
- หน่วยคำนวณ (Arithmetic Unit)
- หน่วยรับและส่งสัญญาณ (I/O Unit)

สถาปัตยกรรมของ Z80

ในปัจจุบันนี้ เราสามารถนำเอาวงจรรีเสดทรอนิกส์ ที่ยุ่งยากและซับซ้อน มาบรรจุลงบนแผ่นวงจรเดียวที่มีขนาดเล็กมากซึ่งเรียกว่า LSI (Last Scale Integrated Circuit) และบรรจุอยู่ในตัวถัง ซึ่งต่อขาออกมาเพื่อใช้ในการติดต่อกับวงจรภายนอกสิ่งนี้เรียกว่า "ชิพ(chip)" องค์ประกอบย่อยๆในไมโครคอมพิวเตอร์ทั้งหมด จะประกอบขึ้นจากชิพเหล่านี้ เช่น หน่วยความจำประเภท ROM (Read Only Memory), RAM (Random Access Memory) ,อุปกรณ์สนับสนุน (Chip Support) ต่างๆ และสิ่งที่เป็นหัวใจของระบบไมโครคอมพิวเตอร์คือหน่วยประมวลผลกลาง หรือ CPU (Central Processing Unit) ซึ่งภายในประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของไมโครโปรเซสเซอร์

ซึ่งแต่ละบล็อกมีลักษณะการทำงานดังต่อไปนี้ คือ

ALU (Arithmetic Logical Unit)

เป็นส่วนสำหรับประมวลผลทางด้านคณิตศาสตร์และลอจิกขนาด 8 บิต

ซึ่งภายในนี้มีความสามารถประมวลผลชนิดต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้คือ

- การบวก (Add)
- การลบ (Subtract)
- การกระทำทางลอจิกแอนด์ (AND)
- การกระทำทางลอจิกออร์ (OR)
- การกระทำทางลอจิกเอกซลูซีฟ-ออร์ (Exclusive-OR)
- การเปรียบเทียบ (Compare)
- การเลื่อนข้อมูลและการหมุนข้อมูล (Shift and Rotate)
- การเพิ่มและการลด (Increment and Decrement)

- การเซ็ทและรีเซ็ทบิต (Set Bit and Reset Bit)
- การตรวจสอบบิต (Test Bit)

Instruction Register

เป็นรีจิสเตอร์สำหรับเก็บคำสั่งที่ CPU ทำการอ่านมาจากหน่วยความจำด้วย Fetch Cycle (MI Cycle) และทำการแปลหรือตีความของคำสั่งแล้วส่งต่อไปยังหน่วยของการควบคุม CPU ต่อไป

Data Bus

เป็นบัสสองทิศทาง (Bi-Directional) ที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่าง CPU กับอุปกรณ์อื่นๆภายในระบบ จำนวนเส้นของบัสข้อมูล (Data Bus) จะขึ้นอยู่กับชนิดของ CPU เช่นในกรณีของ Z80 CPU จะส่งผ่านข้อมูลที่ละ 8 บิต ดังนั้นจะมีจำนวนเส้นของบัสข้อมูล 8 เส้น

Control Bus

หรือบัสควบคุม เป็นบัสทางเดียว (Uni-Directional Bus) ที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณควบคุมให้กับอุปกรณ์ต่างๆในระบบ

Address Bus

เป็นบัสทางเดียว ใช้ส่งผ่านค่าแอดเดรสจาก CPU ออกไปยังหน่วยความจำเพื่อระบุตำแหน่งที่ต้องการรับหรือส่งข้อมูล หรือใช้ระบุตำแหน่งของพอร์ท I/O (Input/Output Port) ที่ CPU ต้องการติดต่อด้วย



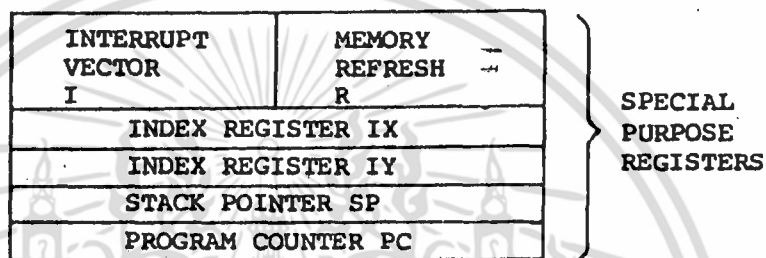
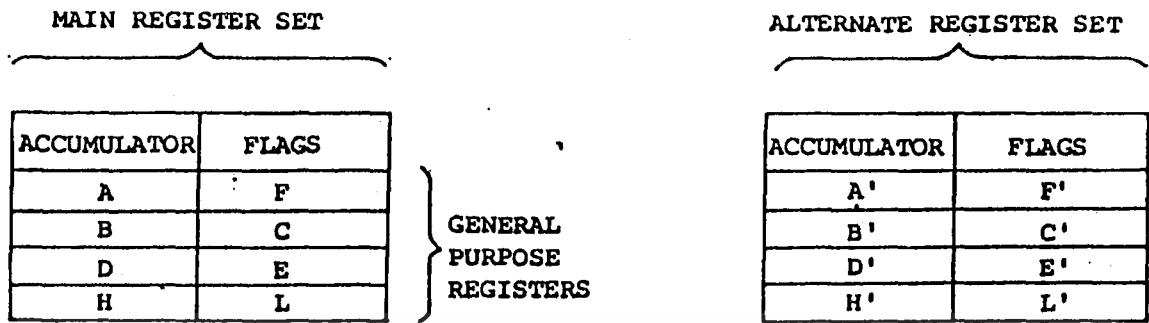
CPU Control

หลังจาก CPU Control ได้รับคำสั่งมาจาก Instruction Register แล้ว CPU Control มีหน้าที่สร้างสัญญาณควบคุมต่างๆขึ้นเพื่อควบคุมการทำงานของ CPU ตามคำสั่งที่ได้รับมา และนอกจากจะรับคำสั่งจาก Instruction Register แล้วยังรับสัญญาณจากภายนอก CPU ด้วยคือ RESET , BUSRQ, WAIT, INT, และ NMI ซึ่งเมื่อรับมาแล้วก็จะมีหน้าที่สร้างสัญญาณควบคุมเช่นเดียวกัน เพื่อไปควบคุมส่วนต่างๆตามความหมายของสัญญาณที่รับเข้ามา

Register Set

กลุ่มของรีจิสเตอร์ของ Z80 นี้มีโครงสร้างเป็น Static RAM ขนาด 208 บิต (8*26) โดยแบ่งออกเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต 18 ตัว และรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต 4 ตัว ข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มของรีจิสเตอร์นี้อาจจะถูกส่งไปยังภายนอกผ่านทาง Address Buffer ในกรณีที่ข้อมูลนั้นถูกใช้เป็นตัวแอดเดรสหรืออาจจะถูกส่งไปยังภายนอก หรือรับข้อมูลจากภายนอกเข้ามาเก็บไว้ในกลุ่มของรีจิสเตอร์ ผ่านทาง Data Bus Buffer ในกรณีที่ข้อมูลนั้นเป็นข้อมูลจริงที่นำมาใช้งาน และนอกจากนี้ จะเห็นได้ว่ากลุ่มของรีจิสเตอร์ติดต่อกับ ALU ผ่านทาง Internal Data Bus ซึ่งนั่นหมายถึง กลุ่มรีจิสเตอร์ถูกใช้สำหรับเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวที่กลุ่มของรีจิสเตอร์นี้ กลุ่มของรีจิสเตอร์สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยได้ 3 กลุ่ม ดังรูปที่ 3.2 นี้

จะเห็นได้ว่าในกลุ่ม Main Register Set และกลุ่มAlternate Register Set นี้มีโครงสร้างเหมือนกัน ซึ่งเราไม่สามารถเรียกใช้ 2 กลุ่มนี้พร้อมๆกันได้ กล่าวคือ ใน Z80 มีคำสั่งสำหรับกลุ่มของข้อมูลกลุ่มนี้คือ EXX และ EXAF ซึ่ง EXX นี้จะทำการสลับข้อมูลทั้งหมดระหว่างกลุ่มแรก และกลุ่มที่ 2 เท่ากับเป็นการเลือกว่าจะใช้กลุ่มไหนในขณะนั้นส่วน EXAF จะทำการสลับข้อมูลเฉพาะ A, F กับ A', F' เท่านั้น ส่วนหน้าที่ของรีจิสเตอร์แต่ละตัวมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.2 รีจิสเตอร์ของ Z80

1) Accumulator (A,A')

เป็นรีจิสเตอร์หลักที่ใช้สำหรับพักข้อมูลเข้าและออกจาก ALU และเป็นรีจิสเตอร์หลักที่ใช้สำหรับพักข้อมูลเข้าและออกจากตัว CPU ซึ่งรีจิสเตอร์หลักตัวนี้มีชื่อเรียกเฉพาะว่าแอมคคิวมูลเตอร์ (Accumulator)

2) Flag Register (F,F')

คือรีจิสเตอร์ที่แสดงถึงสภาวะของ Z80 ไมโครโปรเซสเซอร์ รีจิสเตอร์แฟลกของ Z80 เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต แต่มีใช้จริงเพียงแค่ 6 บิตมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งแฟลกแต่ละบิตมีความหมายดังนี้คือ

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|-----|---|---|
| 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| S | Z | X | H | X | P/V | N | C |

S : Sign

P/V : Parity/Over Flow

Z : Zero

N : Subtract

H : Half Carry

C : Carry

X : Not Used

รูปที่ 3.3 โครงสร้างของรีจิสเตอร์แฟลก

2.1) Carry Flag (C)

ในคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการบวก (ADD, ADC) และในคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการลบ (SUB, SBC, NEG, CP) ในกรณีที่เกิดมีตัวทดหรือตัวยืมขึ้นจะมีผลทำให้ Carry Flag นี้เป็น 1 และในคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการ Shift หรือ Rotate ถ้ามีการเลื่อนออกของข้อมูลทางซ้ายค่าในบิตสูงสุดจะมาเข้าให้กับ Carry Flag และถ้ามีการเลื่อนข้อมูลออกทางด้านขวา ค่าในบิตต่ำสุดจะมาเข้าให้กับ Carry Flag

นอกจากนี้เรายังสามารถควบคุม Carry Flag ได้โดยตรงด้วยคำสั่ง SCF ซึ่งหมายถึง Set Carry Flag ให้เป็น 1 และคำสั่ง CCF ซึ่งเป็นการเปลี่ยนค่าปัจจุบันใน Carry Flag ให้เป็นค่าตรงกันข้ามและสำหรับกรณีที่ CPU ปฏิบัติคำสั่งเกี่ยวกับการทำงานทางด้าน Logic (AND, OR, XOR) Carry Flag จะถูก clear เป็น 0

2.2) Zero Flag (Z)

ในคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการบวก (ADD, ADC) ในคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการลบ (SUB, SBC, CP, NEG) ในคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการทำงานด้าน Logic (AND, OR, XOR) และคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มและการลด (INC, DEC)

ถ้าผลลัพธ์จากการปฏิบัติคำสั่งดังกล่าวนี้เป็น 0 ค่าของ Zero Flag จะเป็น 1 แต่ถ้าผลลัพธ์ไม่เท่ากับ 0 แล้ว Zero Flag จะเป็น 0

นอกจากนี้ คำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการ Rotate และ Shift (RL, RLC, RR, RRC, SLA, SRA, SRL, ELD, RRD) และคำสั่ง IN r,(C) ก็จะมีผลต่อ Zero Flag เช่นเดียวกัน

ในคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับอินพุท และ เอาท์พุทข้อมูล เป็น Block นั้น (INI,IND,OUTI,OUTD,INIR,INDR,OTIR,OTDR) ถ้าค่าใน Register B เท่ากับ 0 แล้ว Zero Flag จะเป็น 1 ซึ่งนั่นก็จะหมายถึงในกรณีที่เป็นคำสั่ง xxx RC (Repeat) แล้ว ถ้าจบคำสั่งนี้แล้ว Zero Flag จะต้องเป็น 1

ในคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาข้อมูล (CPI,CPIR,CPD,CPRD) ถ้าค้นหาพบข้อมูลแล้ว Zero Flag จะเป็น 1 และในคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการอ่านข้อมูลของ Interrupt Register และ Refresh Register (LD A,I และ LD A,R) ก็จะมีผลต่อ Zero Flag เหมือนกัน)

ในคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบบิตของข้อมูล (BIT b,s) นั้น บิตที่ถูกตรวจสอบจะมีผลต่อ Zero Flag

ข้อควรระวังของ Zero Flag ก็คือคำสั่ง CPL นี้จะไม่มีผลต่อ Zero Flag

2.3) Sign Flag (S)

ผลของการทำงานในคำสั่งของการบวก (ADD,ADC) คำสั่งของการลบ (SUB,SBC,CP,NEG) คำสั่งทางด้าน Logic (AND,OR,XOR) คำสั่งการเพิ่มและลด (INC,DEC) คำสั่งทางด้าน Rotate และการ Shift คำสั่ง IN r,(c) คำสั่ง LD A,1 และคำสั่ง LD A,R ถ้ามีค่าเป็นบวก Sign Flag จะมีค่าเป็น 0 และถ้าผลของการคำนวณมีค่าเป็นลบแล้ว Sign Flag จะมีค่าเป็น 1

2.4) Parity/Over Flow Flag (P/V)

ในคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับทางด้าน Logic (AND,OR,XOR) คำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการ Rotate/Shift คำสั่ง DAA และคำสั่ง IN r,(cc) นี้ P/V Flag จะทำหน้าที่เป็น Parity Flag กล่าวคือถ้าจำนวนเลข 1 ของผลลัพธ์เป็นเลขคู่ P/V Flag จะเป็น 1 แต่ถ้าเลขจำนวนเลข 1 ของผลลัพธ์เป็นคี่ P/V Flag จะเป็น 0

สำหรับในคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการบวก (ADD,ADC) คำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการลบ (SUB,SBC) P/V Flag จะทำหน้าที่เป็น Over Flow Flag กล่าวคือ ผลลัพธ์จากการคำนวณมีค่ามากเกินไปที่จะแสดงผลลัพธ์ได้หมด แล้ว P/V Flag จะเป็น 1 ซึ่งถ้าให้ A_n เป็นบิตเครื่องหมายของข้อมูล A และ B_n เป็นบิตเครื่องหมายของข้อมูล B และ R_n เป็นบิตเครื่องหมายของ ผลลัพธ์ข้อมูล R เราสามารถเขียนเป็น สมการของ Logic ของ P/V Flag ได้ดังนี้คือ

$$P/V = R_n * A_n * B_n + \bar{R}_n * A_n * \bar{B}_n$$

นอกจากนี้คำสั่ง INC และ DEC ก็มีผลต่อ Flag นี้เหมือนกันคือ สำหรับคำสั่ง INC ถ้าผลลัพธ์ที่ได้มีค่า 7FH จะทำให้ P/V Flag เป็น 1 และ สำหรับคำสั่ง DEC ถ้าผลลัพธ์ที่ได้มีค่า 80H จะทำให้ P/V Flag เป็น 1

สำหรับคำสั่งของการเคลื่อนย้ายข้อมูลเป็นกลุ่ม (LDI,LDD) และ คำสั่งการค้นหาข้อมูล (CPI,CPD,CPIR,CPDR) ถ้าข้อมูลในรีจิสเตอร์คู่ BC มีค่าเป็น 0 จะทำให้ P/V Flag มีค่าเป็น 0 ด้วย และถ้าไม่ใช่ 0 P/V Flag จะเท่ากับ 1

และยังสามารถใช้ P/V Flag แสดงถึงสภาวะของ Interrupt Enable F/F (IFF) ได้โดยใช้คำสั่ง LD A,I และคำสั่ง LD A,R คือหลังจากใช้คำสั่งนี้แล้วถ้า IFF เป็น 1 อยู่จะมีผลทำให้ P/V Flag เป็น 1

2.5) Half Carry Flag (H)

ในคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการบวก (ADD, ADC) และคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการลบ (SUB, SBC, CP, NEG) และคำสั่ง INC และคำสั่ง DEC นี้ ในการคำนวณถ้าเกิดมีตัวทดจาก 4 บิตหลังไป 4 บิตหน้า หรือเกิดมีตัวยืมจาก 4 บิตหลังแล้ว H Flag นี้จะเป็น 1

2.6) Subtract Flag (N)

N Flag นี้ใช้สำหรับดูว่าคำสั่งหลังสุดที่ปฏิบัติ นั้นเป็นคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการบวก (ADD, ADC, INC) หรือเป็นคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการลบ (SUB, SBC, CP, NEG, DEC) กล่าวคือ ถ้าคำสั่งหลังสุดก่อนตรวจ N Flag นี้เป็นคำสั่งบวก N Flag จะเป็น 0 และถ้าเป็นคำสั่งลบ N Flag จะเป็น 1

3) B-L และ B'-L'

เป็นรีจิสเตอร์เอนกประสงค์ขนาด 8 บิตซึ่งเราสามารถเรียกใช้ได้ตามชนิดของคำสั่งใน Z80 และนอกจากนี้ยังสามารถเรียกรหัสรีจิสเตอร์นี้ในลักษณะที่เป็นรีจิสเตอร์คู่ 16 บิตได้โดย B จะคู่กับ C เป็นรีจิสเตอร์คู่ BC และ D จะคู่กับ E เป็นรีจิสเตอร์คู่ DE และ H จะคู่กับ L เป็นรีจิสเตอร์คู่ HL

4) Index Register (IX, IY)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต ซึ่งถูกออกแบบมาไว้สำหรับช่วยในการกำหนดแอดเดรสของหน่วยความจำให้คล่องตัวยิ่งขึ้น โดยเราสามารถกำหนดแอดเดรสค่าที่ห่างจาก Index Register นี้ออกไปได้ +127 ถึง -128 ตำแหน่ง

5) Program Counter (PC)

เป็น Programmable Counter Register ขนาด 16 บิต ซึ่งมีหน้าที่หลักคือกำหนดแอดเดรสให้กับหน่วยความจำ

6) Stack Pointer (SP)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต ที่มีหน้าที่เฉพาะกำหนดแอดเดรสของหน่วยความจำต้องการนำเอาข้อมูลจากกลุ่มของรีจิสเตอร์ไปเก็บไว้ชั่วคราวที่หน่วย

ความจำ ตามคำสั่ง PUSH และกำหนดแอดเดรสของหน่วยความจำของการอ่านข้อมูลที่น่าไปเก็บนั้นกลับออกมายังกลุ่มของรีจิสเตอร์ตามคำสั่ง POP

7) Interrupt Register (I)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตบนของ Interrupt Vector ในกรณีที่ใช้ interrupt ไนโมด 2 ของ Z80 และ Interrupt Register นี้สามารถเช็คค่าได้ด้วยคำสั่ง LD I,A

8) Refresh Register (R)

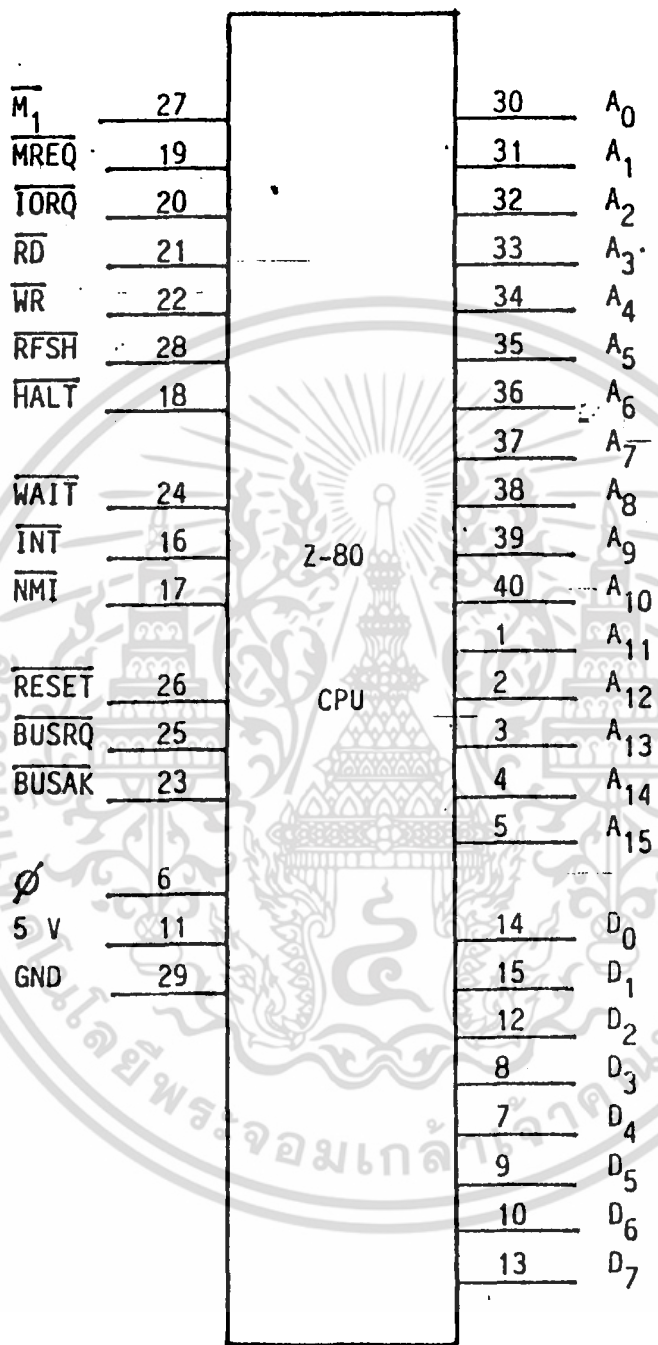
เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต แต่ที่ใช้จริงแค่ 7 บิตเท่านั้น ในบิตที่ 7 ไม่ได้ใช้จะมีค่าเป็น 1 ตลอดซึ่งมีหน้าที่หลักคือจะเก็บค่าแอดเดรสที่ใช้สำหรับการทำ Refresh หน่วยความจำชนิด Dynamic RAM ค่าของ Refresh Register นี้จะถูกส่งไปยัง 8 บิตล่างของ Address Bus เพื่อทำการ Refresh Dynamic RAM ในช่วงของการ Refresh เราสามารถเช็คค่าให้กับ Refresh Register นี้ได้ด้วยคำสั่ง LD R,A หรืออ่านค่าออกมาได้ด้วยคำสั่ง LD A,R และรีจิสเตอร์ตัวนี้จะมีค่าเป็น 0 เมื่อมีสัญญาณ Reset เข้าสู่ CPU แต่จริงๆแล้วในโปรแกรมเราไม่จำเป็นต้องเช็คค่าให้กับรีจิสเตอร์ R นี้

รายละเอียดของขา Z80

Z80 ไมโครโปรเซสเซอร์ มีขาสัญญาณทั้งหมด 40 ขา แต่ละขามีชื่อสัญญาณระบุอยู่ดังแสดงในรูปที่ 3.4

A0-A15 (Address Bus)

เป็นขาสัญญาณเอาต์พุตแบบ Tri-State ใช้บอกตำแหน่งหน่วยความจำได้ถึง $2^{16} = 65536$ ตำแหน่ง A0-A7 จะแสดงตำแหน่งของพอร์ทที่ Z80 ต้องการติดต่อด้วย นอกจากนี้ขา A0-A6 จะให้ค่ารีเฟรชแอดเดรสออกมาขณะที่ Z80 ให้สัญญาณรีเฟรช



รูปที่ 3.4 แสดงขาสัญญาณต่างๆของ Z80 ไมโครโปรเซสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D0-D7 (Data Bus)

เป็นขาสัญญาณอินพุต/เอาต์พุต Tri-State แบบสองทิศทาง ซึ่ง
เป็นทางผ่านของข้อมูลระหว่าง Z80 กับหน่วยความจำและอุปกรณ์ I/O

M1 (Machine Cycle One)

เป็นขาเอาต์พุตแอกทีฟที่ลोजิก "0" ขา M1 นี้จะแอกทีฟขณะที่ Z80
ทำการเพช่อพาคัดของคำสั่ง ในกรณีที่คำสั่งที่จะเพช่อเข้ามานั้นมีขนาด 2 ไบต์
M1 จะแอกทีฟในทุกๆ ไชเคิลการเพช่อแต่ละไบต์

MREQ (Memory Request)

เป็นสายเอาต์พุตแบบ Tri-State แอกทีฟที่ลोजิก "0" เพื่อเป็น
การบ่งบอกว่า Z80 กำลังกระทำการติดต่อกับหน่วยความจำ

IORQ (Input/Output Request)

เป็นสายเอาต์พุตแบบ Tri-State จะแอกทีฟที่ลोजิก "0" เพื่อ
เป็นการบ่งบอกว่า Z80 กำลังทำการติดต่อกับอุปกรณ์ I/O และเมื่อ IORQ และ
M1 แอกทีฟทั้งคู่จะเป็นการบ่งบอก การตอบรับการอินเทอร์รัพท์ (Interrupt
Acknowledge)

RD (Memory Read)

เป็นขาเอาต์พุต Tri-State จะแอกทีฟที่ลोजิก "0" เมื่อ Z80
ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำหรืออุปกรณ์ I/O และ Z80 จะรับข้อมูลจาก
บัลข้อมูลเข้าไบเมื่อสัญญาณนี้เปลี่ยนระดับลोजิกจาก "0" เป็น "1"

WR (Memory Write)

เป็นขาเอาต์พุตแบบ Tri-State จะแอกทีฟที่ลोजิก "0" เมื่อ Z80
ต้องการส่งข้อมูลออกไปให้หน่วยความจำหรืออุปกรณ์ I/O

RFSH (Refresh)

เป็นขาเอาต์พุต จะแอกทีฟเมื่อ 7 บิตล่าง (A0-A6) ของบัลแอก
เดรสให้ค่ารีเฟรชออกมา

HALT (Halt State)

เป็นขาเอาต์พุต แอคทีฟที่ลอจิก "0" เมื่อ Z80 อยู่ในสถานะของการ HALT คือ CPU จะทำคำสั่ง NOP (No Operation) เพื่อให้เกิดการรีเฟรชได้และ Z80 จะหลุดพ้นจากสถานะ HALT เมื่อได้รับการรีเซ็ตหรือถูกอินเทอร์รัพท์

WAIT

เป็นขาอินพุตแอคทีฟที่ลอจิก "0" และจะมีการตรวจสอบสัญญาณนี้ที่ขอบขาของคล็อกลูกที่ 2 ของทุกๆ Machine Cycle เมื่อมีการตรวจพบว่าขาอินพุตนี้แอคทีฟจะมีการแทรก Wait State เข้ากับแต่ละ Machine Cycle เพื่อเป็นการรอให้อุปกรณ์ภายนอกทำงานให้ทันกับการทำงานของ Z80 และ Z80 จะแทรก Wait State จนกว่าจะมีการตรวจสอบพบว่าขา Wait จะมีลอจิกเป็น "1"

INT (Interrupt Request)

เป็นขาอินพุตแอคทีฟที่ลอจิก "0" Z80 จะตรวจสอบระดับสัญญาณที่ขานี้ทุกๆการสิ้นสุดของ Instruction Cycle (Last State)

NMI (Non Maskable Interrupt)

เป็นขาอินพุตแอคทีฟที่ลอจิก "0" สัญญาณ Non Maskable Interrupt เป็นสัญญาณที่มีระดับความสำคัญในการขออินเทอร์รัพท์ สูงกว่าสัญญาณ Interrupt Request Z80 จะตอบรับการอินเทอร์รัพท์ชนิดนี้เสมอ โดยที่เราไม่สามารถ disable ได้ด้วย software

RESET

เป็นขาอินพุตแอคทีฟที่ลอจิก "0" สัญญาณนี้จะทำการ Initialize CPU โดยทำการรีเซ็ต Interrupt Flip-Flop และเซ็ทค่าในโปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter) ให้เป็น 0000H และในสถานะการรีเซ็ตนี้ บัส

แอดเดรส และบัสข้อมูลจะอยู่ในสภาวะ High Impedance และสัญญาณควบคุมต่างๆจะอยู่ในสภาวะ Inactive

BUSRQ (Bus Request)

เป็นขาอินพุตแอกทีฟที่ลอจิก "0" สัญญาณ Bus Request เป็นสัญญาณที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่าสัญญาณ Non Maskable Interrupt และมีการตรวจสอบสัญญาณนี้ทุกๆการสิ้นสุดของ Machine Cycle อุปกรณ์ภายนอกจะให้สัญญาณนี้แก่ Z80 เมื่อต้องการใช้บัสข้อมูลและบัสแอดเดรสโดยเปรียบเสมือนว่าเป็นการถอด Z80 ออกจากระบบบัส

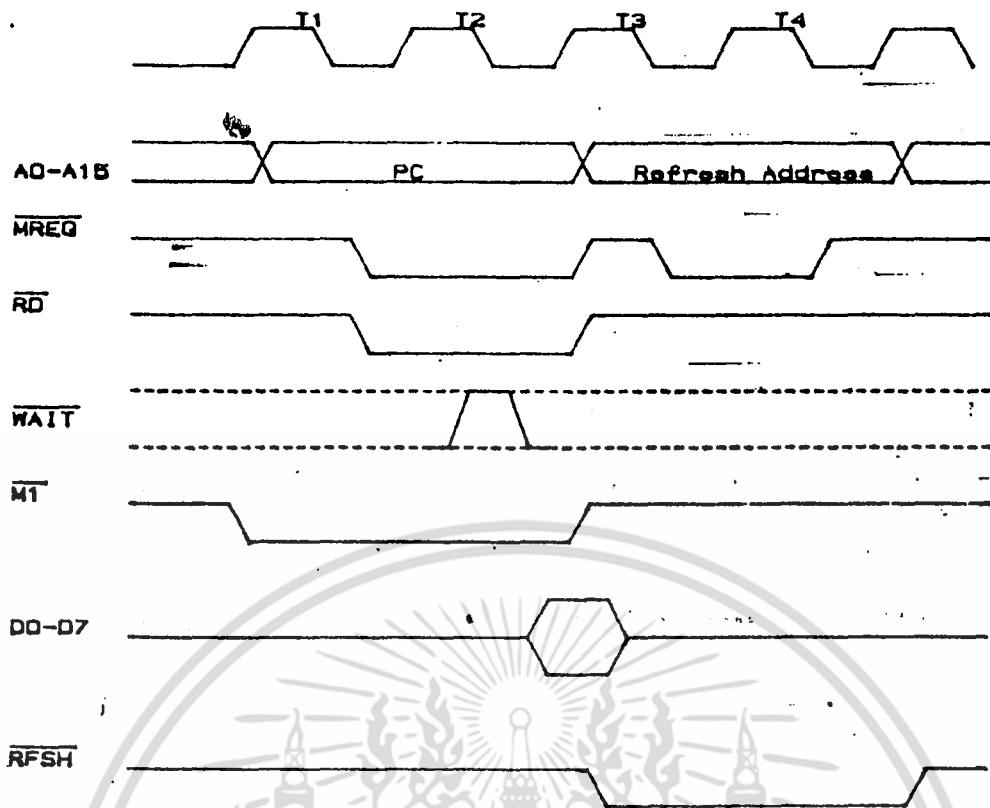
BUSAK (Bus Acknowledge)

เป็นขาเอาต์พุตแอกทีฟที่ลอจิก "0" ขานี้จะแอกทีฟเมื่อ Z80 ตอบสนองการต่อสัญญาณ Bus Request และจะทำให้บัสข้อมูล บัสควบคุมและบัสแอดเดรสมีสภาวะเป็น High Impedance ซึ่งทำให้อุปกรณ์ภายนอกใช้บัสเหล่านี้ได้โดยไม่มีผลต่อ CPU

สัญญาณเวลาของ Z80

ในการทำงานและการปฏิบัติคำสั่งต่างๆของ Z80 จะมีสัญญาณต่างๆที่ถูกส่งเข้า Z80 และถูกส่งออกมาจาก Z80 เป็นชุดๆซึ่งสามารถจัดแบ่งเป็นกลุ่มแต่ละกลุ่มเป็น 1 Machine Cycle ตามประเภทของการทำงานได้ทั้งหมด 10 กลุ่มดังนี้

- 1) สัญญาณเวลาของการเพ็ช้ออบแค็ด (บางครั้งเรียก M1 Cycle) ดังแสดงในรูปที่ 3.5 นี้



รูปที่ 3.5 สัญญาณเวลาของการเพช้ออบเร็ด

จากรูปที่ 3.5 สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

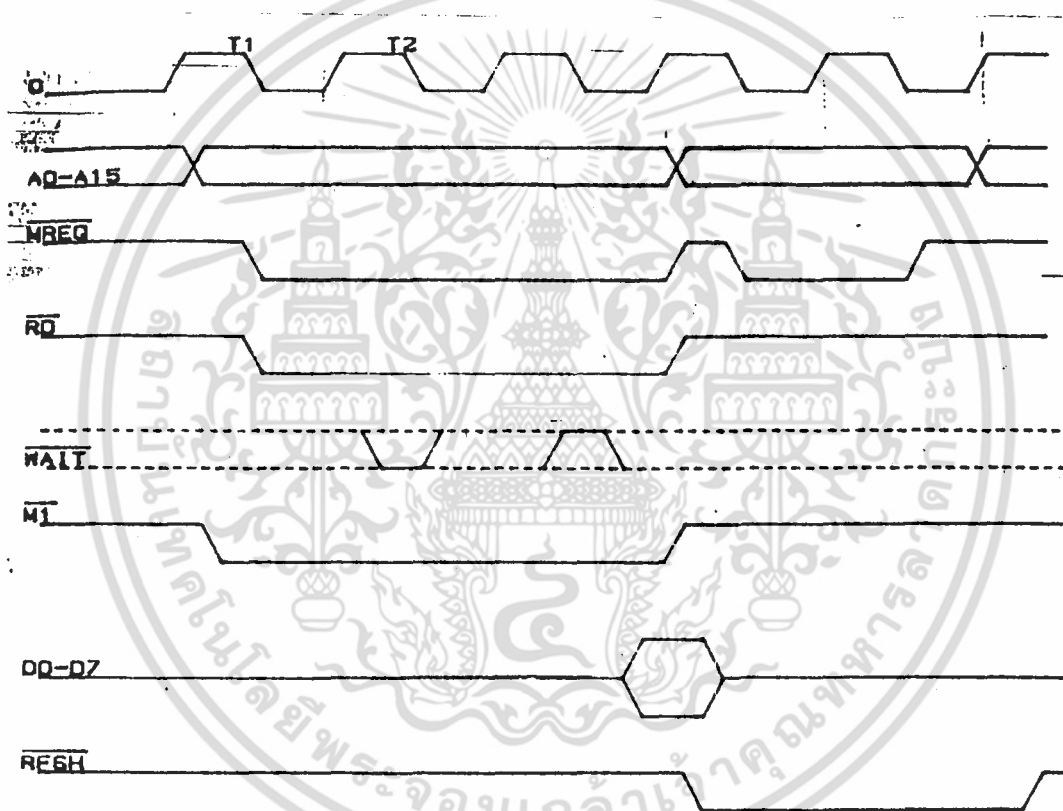
ก. ในช่วงขาขึ้นของสัญญาณเวลา T_1 ข้อมูลขนาด 16 บิตที่อยู่ใน รีจิสเตอร์ PC จะถูกส่งออกมาที่แอดเดรสบัสทาง A_0-A_{15} และในเวลาเดียวกัน สัญญาณ $M1$ จะเป็น "L"

ข. หลังจากที T_1 มีค่าเป็น "L" แล้ว Z80 จะส่งสัญญาณ $MREQ$ และ RD ที่เป็น "L" ออกมา และในช่วงนี้ A_0-A_{15} , $MREQ$, RD ถูกส่งไปยังหน่วยความจำ ทำให้หน่วยความจำเริ่มทำงาน บ่อยข้อมูลที่แอดเดรส A_0-A_{15} ระบุอยู่นั้นออกมาทางบัสข้อมูล

ค. ในช่วงขาขึ้นของ T_3 Z80 จะอ่านข้อมูลจากบัสข้อมูลเข้าสู่ตัวมันเอง ซึ่งจากนี้ จะเห็นได้ว่าสัญญาณเวลาของการเพช้ออบเร็ดนี้สิ้นสุดลงโดยใช้สัญญาณ

ญาณภาพอีกเพียง 2 ลูกเท่านั้น แต่จริงๆแล้ว Z80 จะยังผลิต T₃ และ T₄ ออกไปอีกเพื่อใช้เวลาช่วงนี้วิเคราะห์ความหมายของออบักต์ที่อ่านเข้ามาและทำการรีเฟรชหน่วยความจำชนิดไดนามิคแรม

ง. หลังจากช่วงขาขึ้นของ T₃ แล้ว Z80 จะส่งข้อมูลในรีจิสเตอร์ R ออกมาทางแอดเดรสบัส A₀-A₇ และในเวลาเดียวกันก็จะส่งสัญญาณ RFSH มีค่าเป็น "L" ออกมาด้วย และหลังจากที่ T₃ มีค่าเป็น "L" แล้ว Z80 จะส่ง MREQ ออกมาด้วย ซึ่งสัญญาณทั้งหมดที่ถูกส่งออกมาในช่วงนี้ จะถูกนำไปใช้สำหรับการรีเฟรชหน่วยความจำชนิดไดนามิคแรม



รูปที่ 3.6 สัญญาณเวลาของการเพช้ออบักต์ชนิดมีสภาวะคอย

จากที่อธิบายมานี้ เป็นสัญญาณเวลาของการเพชช็อบบ์เค็ดตามปกติ ชนิดไม่มีสภาวะคอย (Wait State) แต่ในกรณีที่มีสภาวะการคอยแล้วจะมีการทำงานตามรูปที่ 3.6 ซึ่งมีการทำงานคือ

ก. ในช่วงขาลงของ T_2 Z80 จะทำการตรวจสอบขา WAIT ว่าเป็น "L" หรือเป็น "H" ถ้ามีค่าเป็น "H" แล้วจะทำงานตามปกติ แต่ถ้ามีค่าเป็น "L" แล้ว Z80 จะสร้าง T_w เพิ่มขึ้นมามาก 1 สเตทเพื่อทำการยืดสัญญาณเวลาต่างๆออกไปอีก 1 สเตท

ข. ในช่วงขาลงของ T_w Z80 จะทำการตรวจสอบขา WAIT อีกว่าเป็น "L" หรือเป็น "H" ถ้ามีค่าเป็น "H" แล้วจะเริ่มทำงานต่อตามสภาวะปกติ คือสร้าง T_3 ต่อออกมา แต่ถ้ามีค่าเป็น "L" แล้ว Z80 จะสร้าง T_w ต่อเพิ่มขึ้นมามาก 1 สเตทและจะวนทำงานเช่นนี้จนกว่าในช่วงขาลงของ T_w จะพบว่าขา WAIT มีค่าเป็น "H"

2) สัญญาณเวลาของการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ (Memory Read Cycle)

ช่วงสัญญาณเวลาของการอ่านข้อมูล จากหน่วยความจำประกอบไปด้วย 3 สเตท (T_1-T_3) ดังในรูปที่ 3.7

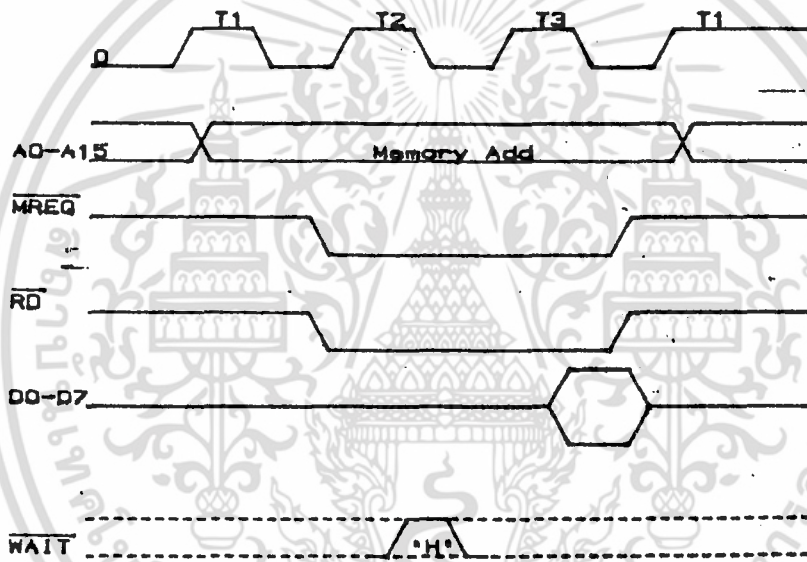
จากรูป สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

ก) ช่วงเริ่มต้นของ T_1 แอดเดรสของหน่วยความจำจะถูกส่งออกมาทางขา A_0-A_{15}

ข) ในช่วงขาลงของ T_1 ผ่านไปแล้ว Z80 จะส่งสัญญาณ MREQ และ RD ออกมา ซึ่งปกติสัญญาณทั้ง 3 ส่วนนี้จะถูกต่อส่งไปยังหน่วยความจำทำงานและปล่อยข้อมูลในแอดเดรสที่ต้องการออกมา

ค) ในช่วงขาลงของ T_3 นี้ Z80 จะทำการอ่านข้อมูลเข้าสู่ตัวมัน

เอง เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง M1 Cycle กับ Memory Read ดูแล้วจะเห็นได้ว่ามีหลายส่วนที่คล้ายกัน แต่จุดที่น่าสนใจคือใน Memory Read Cycle ไม่มีสัญญาณ M1 ถูกส่งออกมา และการอ่านข้อมูลเข้าตัว Z80 นั้นต่างกับกล่าวคือใน M1 Cycle ข้อมูล (Op Code) จะถูกอ่านเข้าในช่วงขาขึ้นของ T₃ แต่ใน Memory Read Cycle ข้อมูลจะถูกอ่านเข้าในช่วงของขาลงของ T₃ ถ้า Z80 ใช้สัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่เท่ากับ 4 MHz นั้นหมายถึงช่วงสัญญาณ 1 ลูกเท่ากับ 250 ns ซึ่งนั่นก็คือคาบเวลาของการเข้าถึง (Access Time) ของหน่วยความจำของทั้ง 2 Cycle นี้ต่างกันถึง 125 ns ดังนั้นในการออกแบบระบบเวลาพิจารณาถึง Access Time ควรพิจารณาที่ M1 Cycle



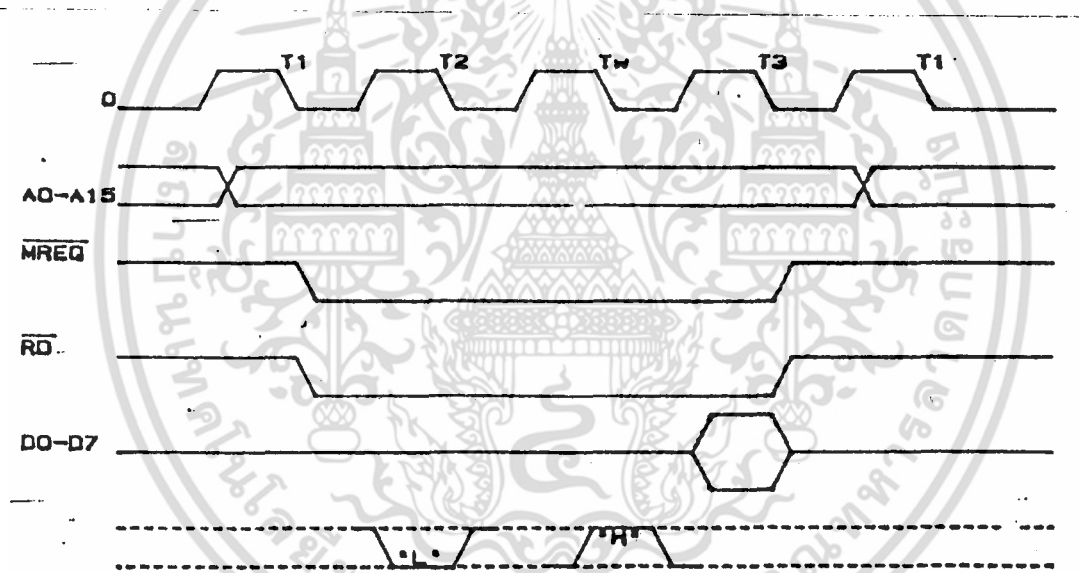
รูปที่ 3.7 สัญญาณเวลาของการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ

จากรูปที่ 3.8 แสดงให้เห็นถึงสัญญาณเวลาของการอ่านข้อมูลในกรณีที่
มีสถานะการคอย ซึ่งมีการทำงานดังนี้

ก) ในช่วงขาลงของ T_2 Z80 จะทำการตรวจสอบสัญญาณ WAIT ว่าเป็น "L" หรือเป็น "H" ในกรณีที่ตรวจพบว่าเป็น "L" Z80 จะสร้าง T_w เพิ่มให้อีก 1 สแตทเพื่อเป็นการยืดสัญญาณต่างๆให้นานออกไป

ข) ในช่วงขาลงของ T_w Z80 ก็จะทำการตรวจสอบขา WAIT นี้ใหม่ ถ้ายังเป็น "L" อยู่ก็จะสร้าง T_w เพิ่มให้อีก 1 สแตทซึ่งจะทำงานอยู่เช่นนี้จนกระทั่งตรวจพบว่าที่ขา WAIT นี้เป็น "H" จึงจะสร้าง T_3 ออกมาให้

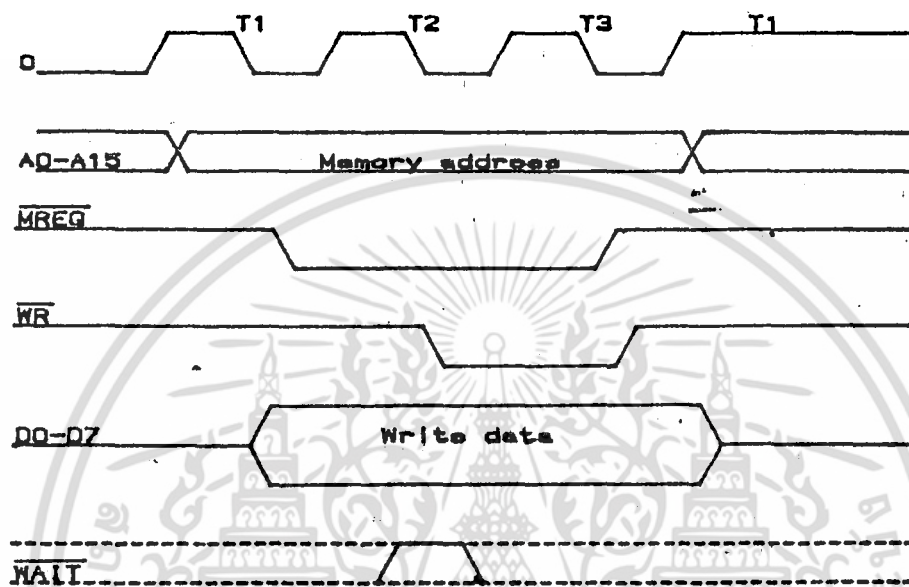
ประโยชน์ของขา WAIT นี้ก็คือในกรณีที่ Z80 เชื่อมต่อกับหน่วยความจำที่ความเร็วช้า หรือมี access time ที่ช้า เราสามารถที่จะหน่วง Z80 ให้อ่านช้าลงคือให้ช้าพอที่จะทำงานร่วมกับหน่วยความจำได้ โดยออกแบบวงจรพิเศษสร้างสัญญาณ WAIT ขึ้นมาคอยป้อนให้กับขา WAIT ของ Z80



รูปที่ 3.8 สัญญาณเวลาของการอ่านข้อมูลในกรณีที่มีสภาวะการคอย

3) สัญญาณเวลาของการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำ (Memory Write Cycle)

ช่วงสัญญาณเวลาของการเขียนข้อมูล ในหน่วยความจำประกอบไปด้วย 3 สเตท (T₁-T₃) ดังแสดงในรูปที่ 3.9

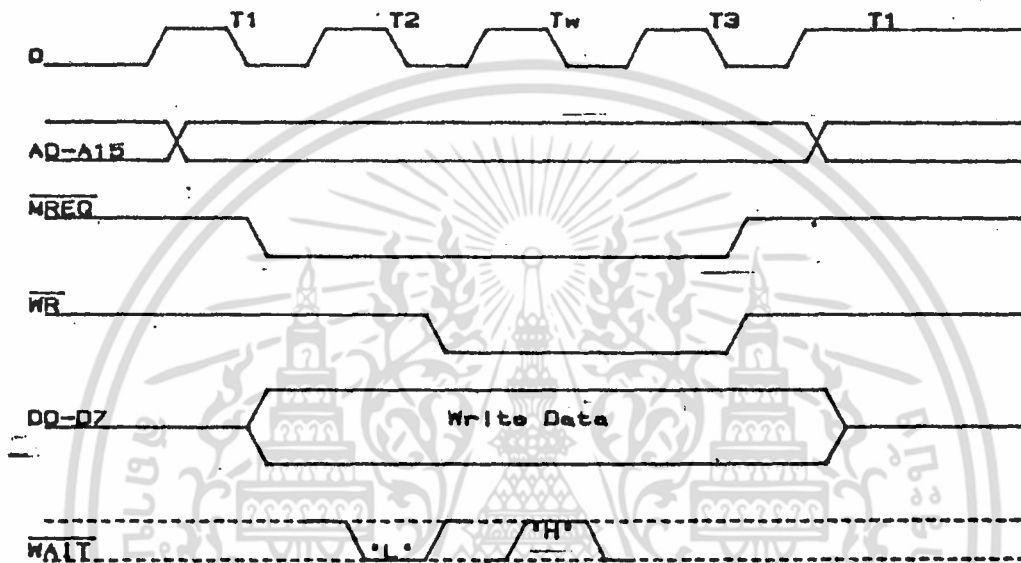


รูปที่ 3.9 สัญญาณเวลาของการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำ

จากรูปที่ 3.9 แสดงให้เห็นถึงสัญญาณเวลาของการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำ ซึ่งมีการทำงานดังนี้คือ

- ก) ในช่วงเริ่มต้นของ T₁ นี้แอดเดรสของหน่วยความจำจะถูกส่งออกมาทางขา A₀-A₁₅
- ข) ในช่วงขาลงของ T₁ ผ่านไบแล้ว Z80 จะส่งสัญญาณ MREQ ออกมาพร้อมกับข้อมูล 8 บิต ออกมาทางบัสของข้อมูล D₀-D₇
- ค) ในช่วงขาลงของ T_w Z80 จะส่งสัญญาณ WR ออกมาสำหรับเป็นสัญญาณเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำ

จากกรณีของ Memory Read Cycle และ Memory Write Cycle สามารถสรุปได้ว่า A_0-A_{15} ใช้สำหรับกำหนดแอดเดรสของหน่วยความจำหรือระบุถึงตำแหน่งของหน่วยความจำที่ต้องการจะติดต่อ MREQ จะเป็นสัญญาณคอยบอกให้รู้ว่า ขณะนี้ Z80 กำลังติดต่อกับหน่วยความจำ RD จะเป็นสัญญาณที่คอยบอกให้รู้ว่าในขณะที่ Z80 กำลังเขียนข้อมูล



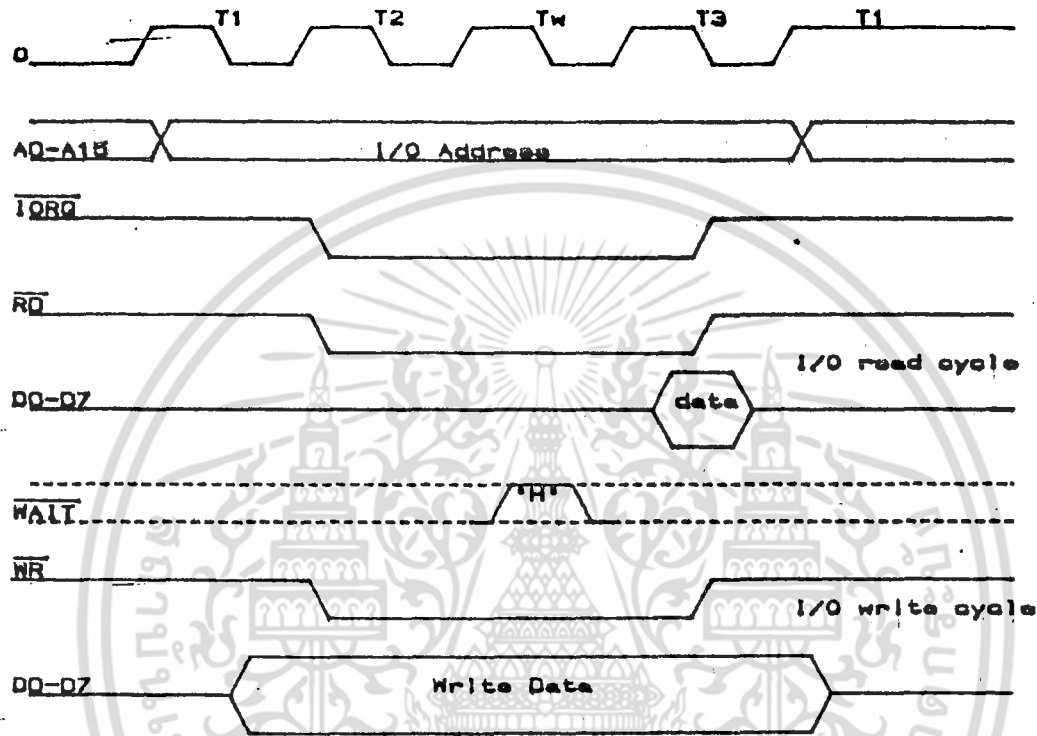
รูปที่ 3.10 สัญญาณเวลาของการเขียนข้อมูลในกรณีที่มีสภาวะคอย

จากรูปที่ 3.10 แสดงให้เห็นถึงสัญญาณเวลาของการเขียนข้อมูลในกรณีที่มีสภาวะคอย ซึ่งมีการทำงานดังนี้

ก) ในช่วงขาลงของ T_2 Z80 จะทำการตรวจสอบสัญญาณ WAIT ว่าเป็น "L" หรือเป็น "H" ในกรณีที่ตรวจพบว่าเป็น "H" ก็จะทำตามปกติ แต่ในกรณีที่ตรวจพบว่าเป็น "L" Z80 จะสร้าง T_w เพิ่มขึ้นอีก 1 สเตท ซึ่งจะวนทำงานอยู่เช่นนี้จนกระทั่งตรวจพบว่าที่ขา WAIT นี้เป็น "H" จึงจะสร้าง T_3 ออกมาให้

4) สัญญาณเวลาของการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุต (I/O Read Cycle)

สัญญาณเวลาของการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุต ประกอบด้วย 4 สแตทคือ T_1 T_2 T_w และ T_3 ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 สัญญาณเวลาของการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุต

จากรูปที่ 3.11 แสดงให้เห็นถึงสัญญาณเวลาของการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุต ซึ่งมีการทำงานดังนี้คือ

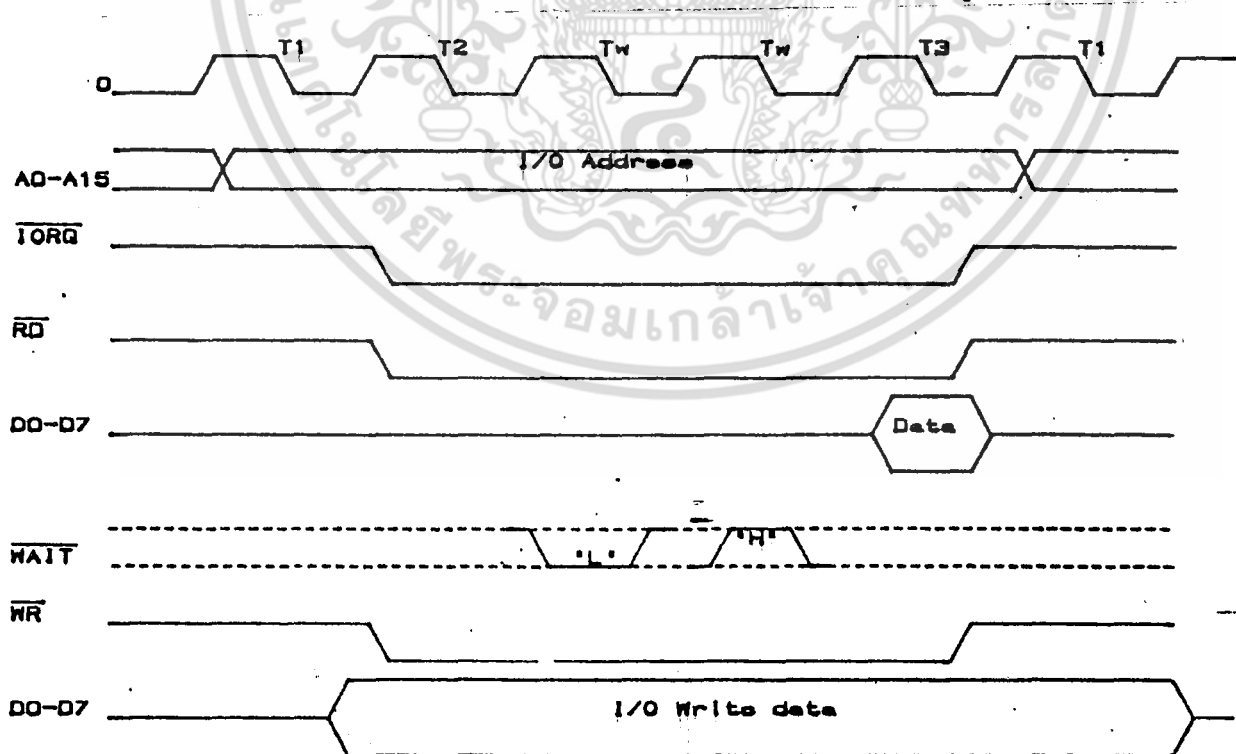
ก) ในช่วงเริ่มต้นของ T_1 แอดเดรสของอุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุตจะถูกส่งออกมาทางแอดเดรสบัส A_0-A_7

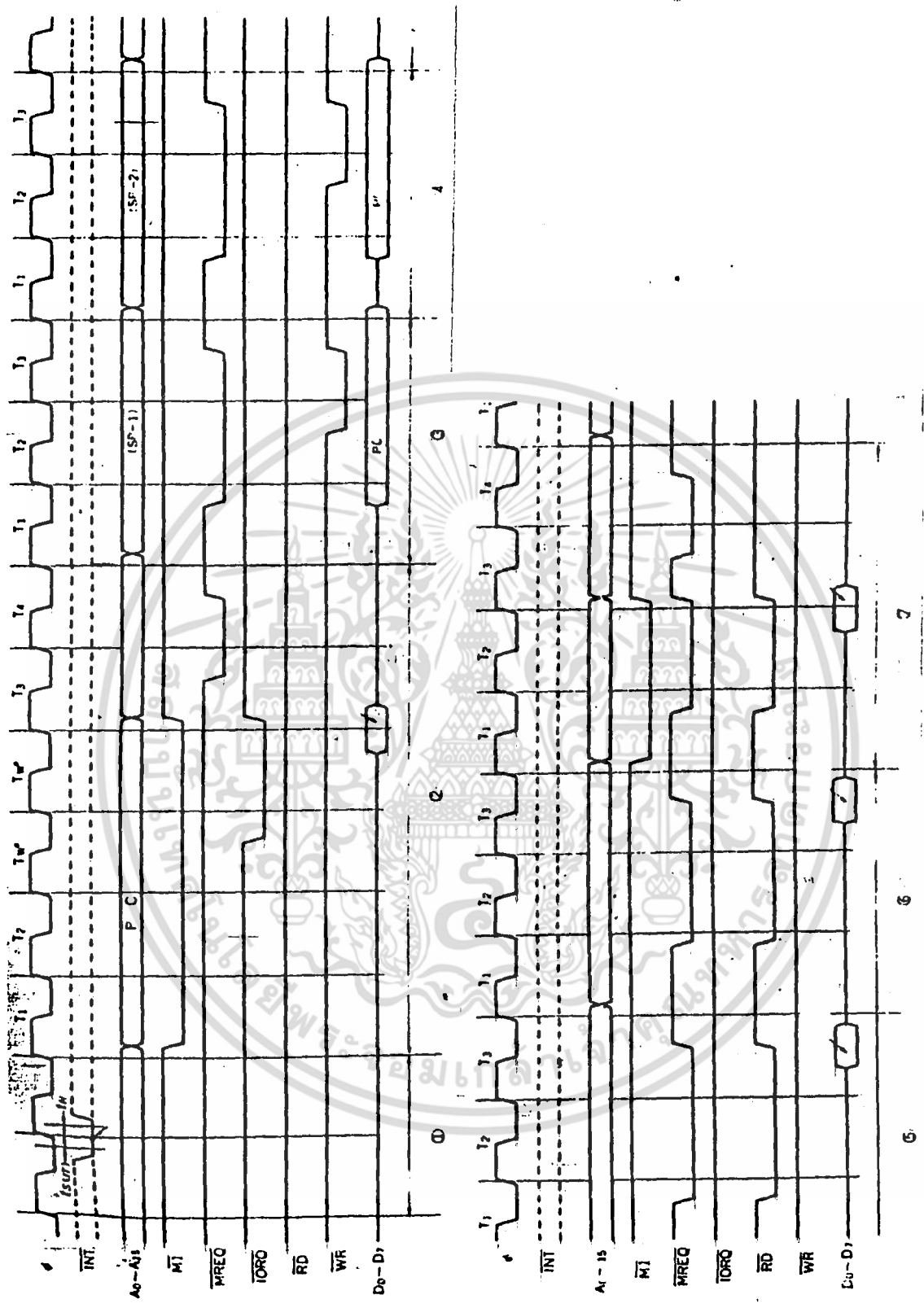
ข) ในช่วงเริ่มต้นของ T_2 Z80 จะส่งสัญญาณ IORQ และ RD เป็น "L" ออกมาซึ่งสัญญาณทั้ง 3 ส่วนนี้จะถูกส่งต่อไปยังอุปกรณ์อินพุตเพื่อให้อุปกรณ์อินพุตตำแหน่งที่ต้องการให้ทำงานและปล่อยข้อมูลออกมาสู่บัสของข้อมูล

ค) ในช่วงขาลงของ T_3 Z80 จะทำการอ่านข้อมูลจากบัสข้อมูลเข้าสู่ตัวมัน

สัญญาณเวลาของการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ I/O ต่างจากสัญญาณเวลาของการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำคือ สัญญาณเวลาของการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ I/O นี้จะมี T_w^* แทรกเข้ามาระหว่าง T_2 กับ T_3 เสมอ ซึ่งในช่วงสัญญาณเวลาของการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำไม่มีสาเหตุที่ Z80 สร้าง T_w^* ออกมา คือโดยปกติ Wait State จะถูกตรวจสอบในช่วงขาลงของ T_2 แต่เนื่องจากสัญญาณ IORQ และ RD ทำงานเป็น "L" ในช่วงขาขึ้นของ T_2 และสัญญาณทั้ง 2 นี้ถูกส่งไปยังอุปกรณ์ I/O มีเวลาน้อยมากที่จะ Decode แอดเดรส ทำให้อุปกรณ์ I/O ทำงานไม่ทันในกรณีที่สร้างสัญญาณ Wait ออกมา ดังนั้น Z80 จึงสร้าง T_w^* เพิ่มขึ้นมาอีก 1 สเตท และใช้ขาลงของ T_w^* นี้เป็นช่วงตรวจสอบขา WAIT

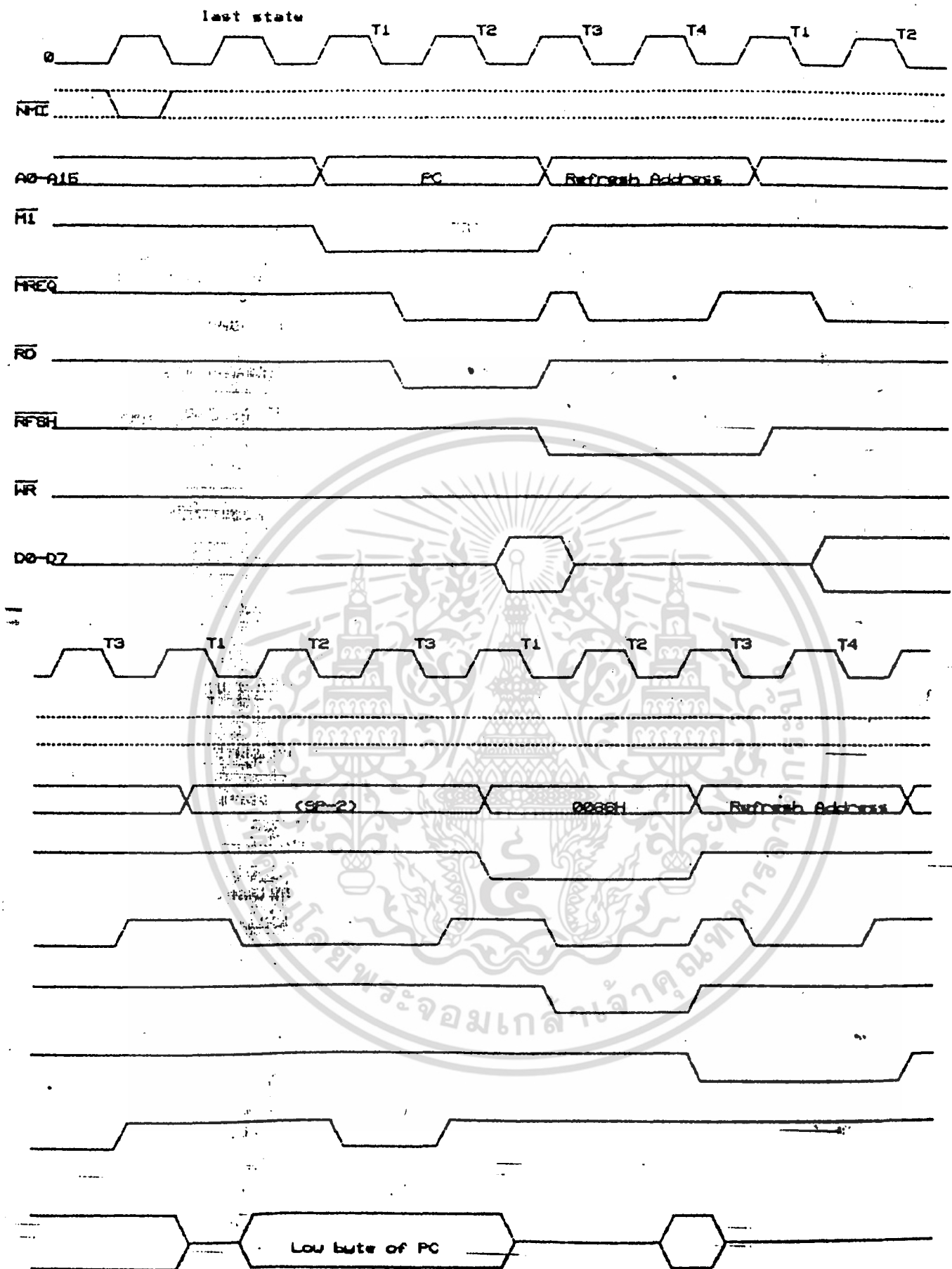
ในกรณีที่ มี Wait State จะมีการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.12





รูปที่ 3.13 สัญญาณเวลาการตอบสนองต่อการอินเทอร์รัพชันชนิดมาสค์เดเบิลในโมด 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงสัญญาณการตอบสนองต่อการอินเทอร์รับชนิดนอนมาส์คเคเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีการทำงานดังนี้คือ

ก) ช่วงเวลาของ T_w^* Z80 จะทำการตรวจสอบขา WAIT ถ้าเป็น "L" ก็จะสร้าง T_w เพิ่มเข้ามาอีก 1 สเตท และหลังจากนั้นก็ใช้ช่วงเวลาของ T_w คอยตรวจสอบขา WAIT ต่อไป

5) สัญญาณเวลาของการเขียนข้อมูลลงอุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุต (I/O Write Cycle)

ช่วงสัญญาณเวลาของการเขียนข้อมูลลงอุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุต ประกอบด้วย 4 สเตทคือ T_1 T_2 T_w^* และ T_3 เหมือนกับช่วงสัญญาณเวลาของการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ I/O ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 11 ซึ่งเป็นรูปเดียวกับช่วงสัญญาณเวลาของการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ I/O และมีการทำงานดังนี้

ก) ในช่วงเริ่มต้นของ T_1 นี้แอดเดรสของอุปกรณ์ I/O จะถูกส่งออกมาทางแอดเดรสบัส A_0-A_7

ข) หลังจากช่วงเวลาของ T_1 ผ่านไป Z80 จะส่งข้อมูลออกมาทางบัสของข้อมูล D_0-D_7

ค) สุดท้ายในช่วงขาขึ้นของ T_2 Z80 จะส่ง IORQ และ WR เป็น "L" ออกมา ซึ่งสัญญาณ WR นี้ อุปกรณ์ I/O จะใช้สำหรับเป็นสัญญาณนำพามาในการเขียนข้อมูลจากบัสข้อมูลเข้าสู่ตัวมันเอง

สาเหตุที่ต้องมี T_w^* สำหรับสัญญาณเวลาของการเขียนข้อมูลลงอุปกรณ์ I/O และในกรณีที่มีสภาวะการคอย ก็มีการทำงานที่เหมือนกัน

6) สัญญาณเวลาของการตอบสนองต่อการอินเทอร์รับ ชนิดมาส์คเคเบิล

ช่วงสัญญาณเวลา ของการตอบสนองต่อการอินเทอร์รับชนิดมาส์คเคเบิลนี้ จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อ มีสัญญาณอินเทอร์รับเข้ามาที่ขา INT ของ Z80 และในขณะที่มีสัญญาณอินเทอร์รับเข้ามานั้น Z80 จะต้องอยู่ในสภาวะดังนี้คือ อินเทอร์รับเอนเนเบิล (อินเทอร์รับพลิกฟลอปเซ็ทอยู่) และที่ขา BUSRQ จะต้องเป็น "H" อยู่

การอินเทอร์รับชนิดมาส์คเคเบิลของ Z80 นี้มี 3 โหมด คือโหมด 0 โหมด 1 และ โหมด 2 จะขออธิบายถึงสัญญาณเวลาของการตอบสนองต่อการอินเทอร์รับชนิดมาส์คเคเบิลในโหมด 2 ก่อนตั้งแสดงในรูปที่ 3.13 แล้วตามด้วย โหมด 0 และ โหมด 1 ตามลำดับ ซึ่งมีการทำงานดังนี้

ก) ในช่วงขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกาสูงสุดท้าย ของแมทชีนไซเคิลสุดท้าย ของคำสั่งใดๆ Z80 จะทำการตรวจสอบสัญญาณอินเทอร์รับจากขา INT

ข) ในช่วงนี้ จะเป็นการเพชอินเทอร์รับอินเทอร์รับเวคเตอร์ ซึ่งไซเคิลนี้ถูกเรียกว่า Special M1 Cycle กล่าวคือ Z80 จะส่ง M1 และ IORQ เป็น "L" ออกมาเพื่อใช้สำหรับเป็นสัญญาณในการอ่านอินเทอร์รับเวคเตอร์เข้าสู่ตัวมัน

ค) ในช่วงนี้จะเป็นการนำเอาไบต์บนของ PC ไปเก็บไว้ที่หน่วยความจำที่กำหนดแอดเดรสโดยค่า SP-1

ง) ในช่วงนี้จะเป็นการนำเอาไบต์ล่างของ PC ไปเก็บไว้ที่หน่วยความจำที่กำหนดแอดเดรสโดยค่า SP-2

จ) นำอินเทอร์รับเวคเตอร์ที่อ่านมาจากในข้อ ข) มาต่อกับรีจิสเตอร์ I ทำเป็นแอดเดรส 16 บิต กำหนดแอดเดรสของหน่วยความจำแล้วทำการอ่านข้อมูลจากแอดเดรสนี้มา แล้วถือเป็นไบต์ล่าง

ฉ) อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำที่ตำแหน่งถัดมา (+1) จากข้อ จ) มาอีก 1 ไบต์ แล้วถือว่าเป็นไบต์บน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) นำเอาข้อมูลที่อ่านได้จากข้อ จ) และ ข้อ ฉ) มาเชื่อมต่อกันทำเป็นแอดเดรสขนาด 16 บิต และถือว่าเป็นแอดเดรสเริ่มต้นของอินเทอร์รับเซอร์วีลรูทีนแล้วทำการเพทออบไคต์ของคำสั่งแรกของอินเทอร์รับเซอร์วีลรูทีนจากรูปในช่วงที่ 2) จะเห็นได้ว่าถ้าเปลี่ยนจากสัญญาณ IORQ เป็นสัญญาณ RD แล้วไซเคิลนี้จะเหมือนกับ M1 ไซเคิลทันทีตั้งนั้นจึงเรียกแมทซินไซเคิลนี้ว่า Special M1 Cycle

ช่วงสัญญาณการตอบสนองต่อการอินเทอร์รับชนิดมาสค์เคเบิลในโมด 0 นั้นมีการทำงานจากข้อ ก) ถึง ง) เหมือนกับใน โมด 2 และไม่มีข้อ จ) และ ฉ) อินเทอร์รับแอดเดรสที่อ่านเข้ามาได้จากข้อ ข) จะถือเป็นแอดเดรสของอินเทอร์รับเซอร์วีลรูทีนทันที กล่าวคือจะมีการทำงานตามข้อ ก) - ง) และ ข)

ในโมด 1 นั้น จะมีการทำงานคล้ายกับ โมด 0 ต่างกันที่ โมด 1 จะไม่คำนึงถึงค่าอินเทอร์รับแอดเดรสที่อ่านเข้ามา แต่จะตีความหมายว่าอินเทอร์รับแอดเดรสนั้นคือคำสั่ง RST 38H และปฏิบัติคำสั่งนั้นทันที

7) สัญญาณการตอบสนองต่อการอินเทอร์รับ ชนิดนอนมาสค์เคเบิล การอินเทอร์รับชนิดนอนมาสค์เคเบิลนี้เป็นการอินเทอร์รับชนิดที่ไม่มีอะไรสามารถที่จะขัดขวางไม่ให้ Z80 ตอบสนองได้ซึ่งต่างจากการอินเทอร์รับชนิดมาสค์เคเบิลที่ Z80 สามารถขัดขวางหรือยอมรับต่อการถูกอินเทอร์รับด้วยคำสั่ง DI และ EI

สัญญาณการตอบสนองต่อการอินเทอร์รับชนิด นอนมาสค์เคเบิลนี้ดังแสดงในรูป 14 ซึ่งมีการทำงานดังนี้

ก) เมื่อมีสัญญาณ NMI เข้ามาเป็น "L" ทางขา NMI ของ Z80 แล้วในช่วงขาลงของ NMI นี้จะทำให้ NMI พลิบลอปถูกเซ ทเป็น 1 ได้นั้นสัญญาณ NMI จะต้องเป็น "L" อย่างน้อยเท่ากับเวลา T_w

ข) ในช่วงขาขึ้นของสัญญาณพิกาลูกสุดท้าย ของเมทซ์ไนเซิลสุดท้ายของคำสั่งที่กำลังปฏิบัติงานอยู่ Z80 พลิบพลอบ ซึ่งถ้าตรวจพบว่า NMI พลิบพลอบถูกเซ็ทเป็น 1 อยู่ เมทซ์ไนเซิลต่อมา ก็จะเป็นช่วงสัญญาณการตอบสนองต่อการอินเทอร์รับชนิดนอนมาสค์เคเบิลทันที แต่ถ้าตรวจพบว่า NMI พลิบพลอยถูกรีเซ็ทเป็น 0 อยู่ก็จะทำงานคำสั่งต่อไปตามปกติ

ในช่วงเมทซ์ไนเซิลแรกของการตอบสนองต่อการอินเทอร์รับชนิดนี้จะเป็นเมทซ์ไนเซิลของ M1 แต่ไม่มีความหมายอะไรในการเพ็ชออบไค้ดเข้ามา วัตถุประสงค์เพียงแต่ต้องการรีเฟช หน่วยความจำชนิดไดนามิคแรมเท่านั้น และอีก 2 เมทซ์ไนเซิลต่อมาเป็นช่วงสัญญาณเวลาของการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำ ซึ่งเป็นการเก็บค่า PC ลงในหน่วยความจำ (สแตค) ที่มีกำหนดแอดเดรสโดยค่า SP-1 และ SP-2 แล้วหลังจากนั้นจะเป็น M1 เมทซ์ไนเซิลโดยจะเริ่มเพ็ชออบไค้ดของคำสั่งแรกของอินเทอร์รับเซอร์วิสุทั้น ที่แอดเดรส 0066H

8) สัญญาณเวลาของการตอบสนองต่อการขอใช้บัส

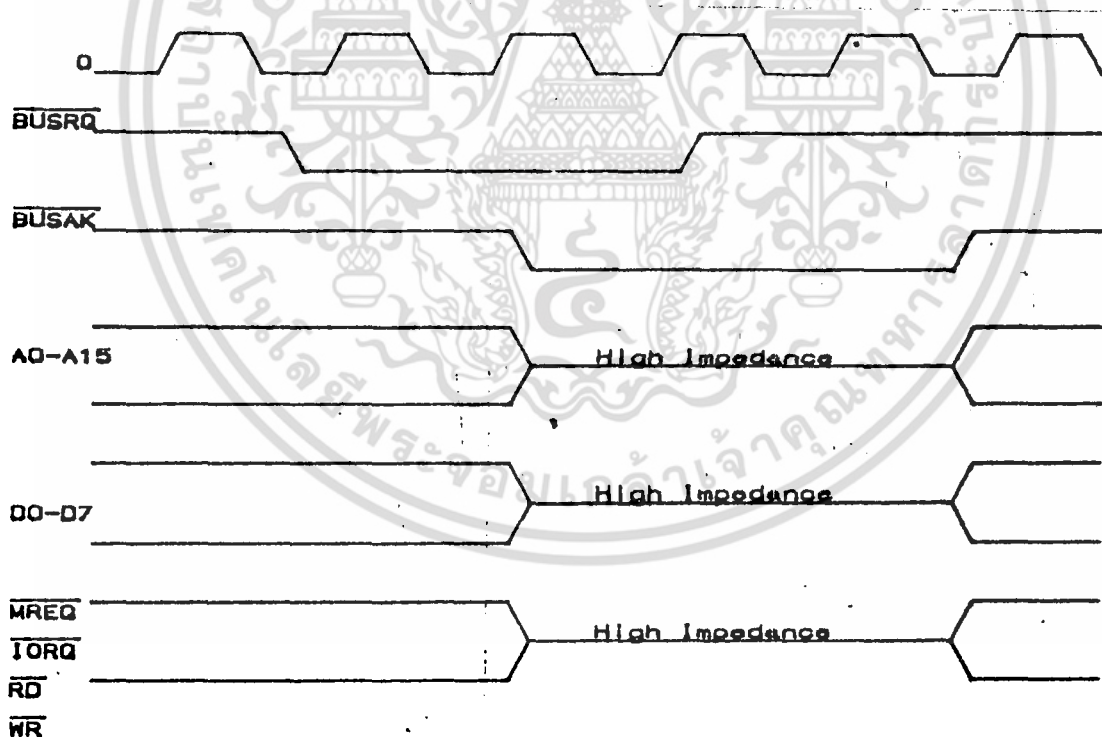
Z80 มีบัสที่สำคัญอยู่ 3 บัสคือ แอดเดรสบัส (A₀-A₁₅) บัสข้อมูล (D₀-D₇) และบัสควบคุม (MREQ, IORQ, RD, WR, RFSH) ซึ่งบัสเหล่านี้ปกติจะถูกควบคุมโดย Z80 และบัสเหล่านี้ใช้เชื่อมต่อระหว่าง Z80 กับหน่วยความจำและ Z80 กับอุปกรณ์ภายนอกอื่นๆ มีบางกรณีที่อุปกรณ์ภายนอกอื่นๆต้องการจะติดต่อกับหน่วยความจำโดยตรง หรือติดต่อกันระหว่างอุปกรณ์ภายนอกด้วยกันโดยตรง ผ่านทางบัสของ Z80 และ Z80 จะมีการตอบสนองดังรูป 3.15

รูปที่ 3.15 จะแสดงสัญญาณเวลาของการตอบสนองต่อการขอใช้บัส ซึ่งมีการทำงานดังต่อไปนี้

ก) ในช่วงขาขึ้นของสัญญาณพิกาลูกสุดท้ายของเมทซ์ไนเซเคิลใดๆ Z80 จะทำการตรวจสอบขา BUSRQ ว่าเป็น "H" หรือเป็น "L" ถ้าตรวจพบว่าเป็น "H" ก็จะทำงานตามปกติ แต่ถ้าตรวจพบว่าเป็น "L" แล้วในช่วงขาขึ้นของสัญญาณพิกาลูกต่อไป Z80 จะส่งสัญญาณ BUSAK เป็น "L" ออกมา Z80 ซึ่งหลังจากนี้แล้วอุปกรณ์ภายนอกสามารถใช้บัสได้โดยสะดวก

ข) ในทุกๆขาขึ้น ของสัญญาณพิกาลูก Z80 จะคอยตรวจสอบขา BUSRQ ว่าเป็น "H" หรือเป็น "L" ถ้าตรวจพบว่าเป็น "L" ทุกอย่างก็ยังคงสภาวะเดิม แต่ถ้าตรวจพบว่าเป็น "H" ในช่วงขาลงของสัญญาณพิกาลูกเดียวกัน ผ่านไป Z80 จะส่ง BUSAK เป็น "H" ออกมา

ค) ในช่วงขาขึ้น ของสัญญาณพิกาลูกถัดไป Z80 จะต่อบัสทั้ง 3 เข้าสู่ตัวมัน กลับไปทำงานต่อตามเดิม

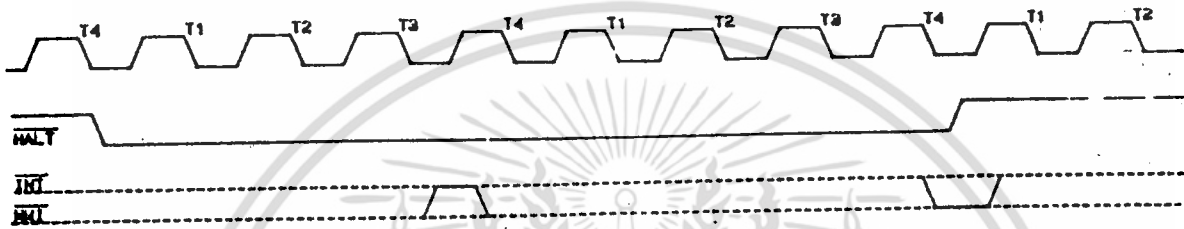


รูปที่ 3.15 สัญญาณเวลาของการตอบสนองต่อการขอใช้บัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9) สัญญาณเวลาของสภาวะหยุด

ใน Z80 มีคำสั่งสำหรับหยุดการทำงานอยู่ 1 คำสั่งคือคำสั่ง HALT
ขณะที่ Z80 ปฏิบัติคำสั่งนี้ ในสแตทสุดท้าย (T₄) ของคำสั่งนี้ Z80 จะส่งสัญญาณ
เป็น "L" ออกมาทางขา HALT ดังรูปที่ 3.16 ซึ่งมีการทำงานดังต่อไปนี้

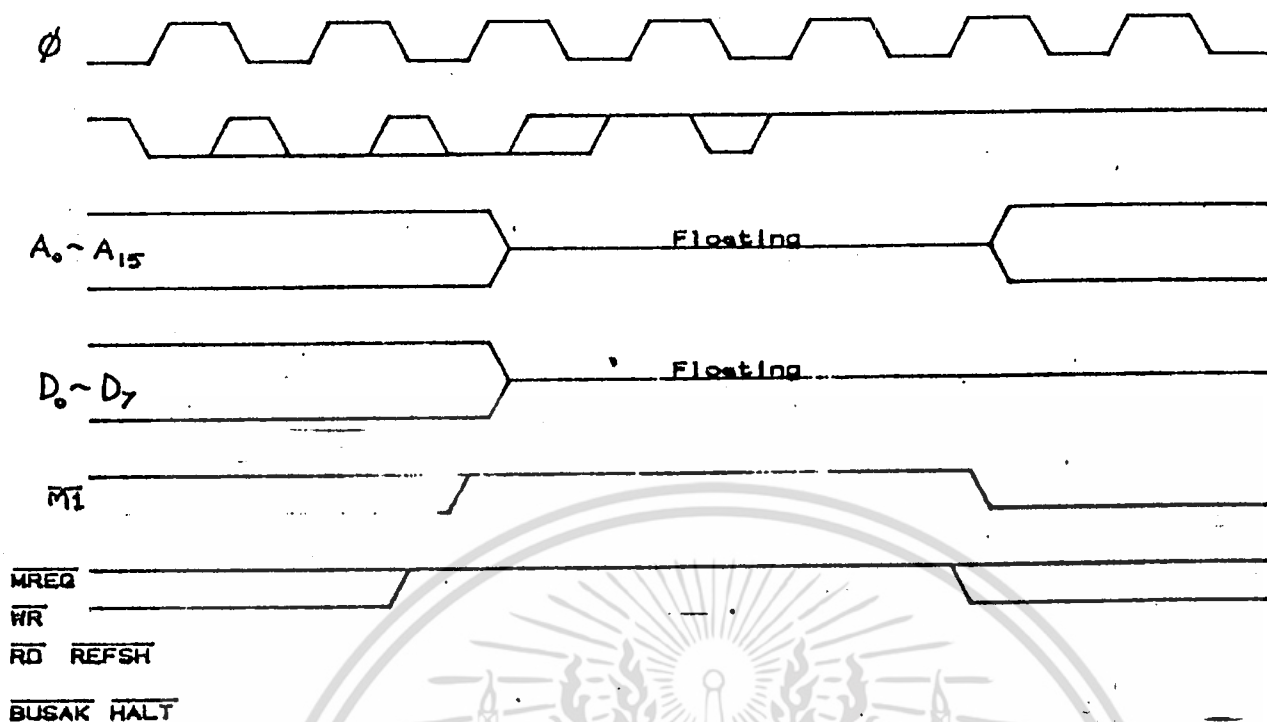


รูปที่ 3.16 สัญญาณเวลาของการหยุด

ก) ซึ่งหลังจากนี้ Z80 จะวนปฏิบัติคำสั่ง NOP (มี 4 สเตท) จนกระทั่งจะมีสัญญาณ INT หรือ NMI เข้ามา

ข) ในช่วงขึ้นของสแตทสุดท้าย (T₄) ของคำสั่ง NOP นี้ Z80 จะทำการตรวจสอบขา INT และ NMI ว่ามีสัญญาณเป็น "L" เข้ามาหรือไม่ ถ้ามีเข้ามาก็จะปฏิบัติเหมือนกับช่วงสัญญาณเวลาของการตอบสนองต่อการอินเทอร์รับ

ค) หลังจากปฏิบัติคำสั่งสุดท้ายของอินเทอร์รับ เซอร์วิสเซท (RETI หรือ RETN) แล้ว Z80 จะย้อนกลับมาปฏิบัติคำสั่งที่อยู่ถัดจากคำสั่ง HALT ออกไป 1 คำสั่ง (เท่ากับออกนอกลูบของคำสั่ง HALT)



รูปที่ 3.17 สัญญาณเวลาของการรีเซ็ต

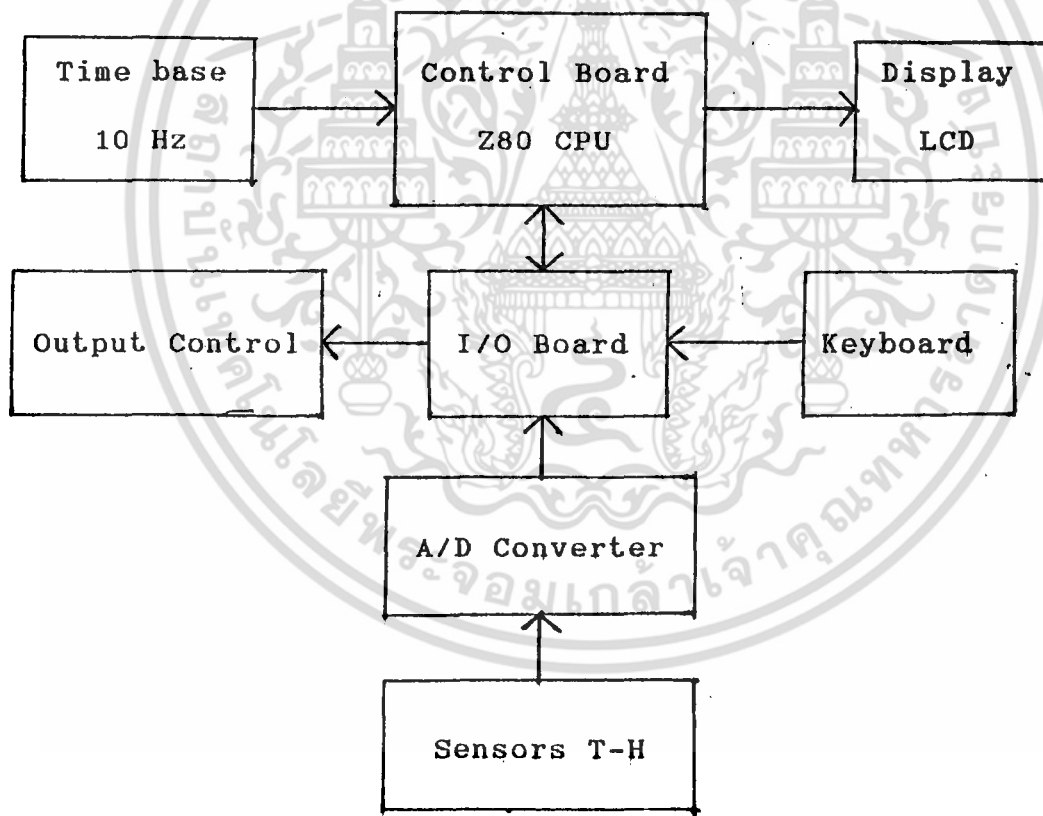
10) สัญญาณเวลาของการรีเซ็ต

สัญญาณเวลาของการรีเซ็ต Z80 ดังแสดงในรูป 3.17 นี้ การรีเซ็ต Z80 นี้ จะต้องมีสัญญาณเป็น "L" ที่มีความยาวนานอย่างน้อยเท่ากับสัญญาณนาฬิกาปกติ 3 ลูกบ่อนเข้าที่ขารีเซ็ต (RESET) หลังจากที่ Z80 ได้รับสัญญาณรีเซ็ตแล้ว Z80 จะทำการปล่อยแอดเดรสบัสและบัสข้อมูลให้ลอยไว้ (Floating) และขาของสัญญาณควบคุมต่างๆ (MREQ, IORQ, WR, RD, RFSH, HALT, BUSAK) จะมีค่าเป็น "H" เป็นระยะเวลาสั้นเท่ากับสัญญาณนาฬิกา 3 ลูก จากนั้นในช่วงขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา Z80 จะปฏิบัติ M1 ไซเคิล ของคำสั่งที่แอดเดรส 0000H

บทที่ 4

ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยไมโครโปรเซสเซอร์

แบบที่จะกล่าวถึงรายละเอียด และหลักการเบื้องต้น ของส่วนประกอบต่างๆ ของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งโครงสร้างของระบบจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดัง block diagram รูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 block diagram แสดงส่วนประกอบต่างๆของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยไมโครโปรเซสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งส่วนประกอบทั้ง 8 ส่วนนี้ สามารถอธิบายถึงหลักการท างาน รายละเอียดของวงจร และการประกอบกันเข้าเป็นระบบ ได้เป็นส่วนๆ ดังต่อไปนี้

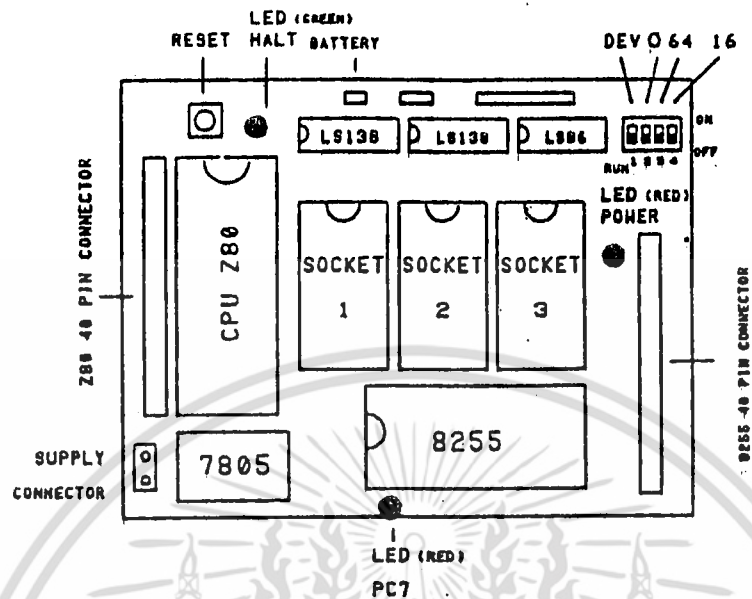
1) Control Board

Control Board เป็นบอร์ดของระบบไมโครโปรเซสเซอร์ขนาดเล็กที่ประกอบด้วยระบบพื้นฐานในการท างานดังนี้ คือมี Z80 เป็น CPU ขนาด 8 บิต มี ROM ขนาด 4KB (เบอร์ 2732A) มี RAM ขนาด 8KB (เบอร์ 6264) รวมทั้งวงจรการจัดการถอดรหัส (decoder) และยังมี IC เบอร์ 8255 เป็น I/O port สำหรับการต่อกับอุปกรณ์ภายนอกซึ่งการต่อส่วนประกอบต่างๆนี้เข้าด้วยกันเป็นวงจรนั้นได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข .

Control Board นี้เป็นโครงสร้างทาง hardware อย่างเดียว ซึ่งจะต้องมีการโปรแกรม เพื่อให้มันท างานตามต้องการ โดยขึ้นอยู่กับลักษณะงานนั้นๆที่นำไปใช้ โปรแกรมนี้เองที่จะเป็นตัวกำหนดความสามารถของ Control Board ว่าสามารถท างานได้มากน้อยแค่ไหน ซึ่งโปรแกรมนั้นจะอัดลงเก็บไว้ใน ROM ซึ่งเราเรียกว่าโปรแกรมมอนิเตอร์ (program monitor) ซึ่งโปรแกรมมอนิเตอร์ทั้งหมดของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ นี้ได้แสดงไว้ใน ภาคผนวก ก .

ใน RAM นั้นจะเป็นที่เก็บข้อมูลต่างๆของโปรแกรม คือจาก Address 2000H-2029H จะใช้เป็น buffer ของโปรแกรม จาก Address 202AH-3B30H จะเป็นพื้นที่ ที่ใช้เก็บข้อมูลของอุณหภูมิและความชื้นที่จะเก็บเข้ามาทุกๆ 1 นาที ในส่วนท้ายของพื้นที่ใน RAM คือจาก Address 3F00H-3FFFH จะกันไว้เป็นพื้นที่ของ Stack

ส่วน IC เบอร์ 8255 ซึ่งเป็น I/O port นั้นจะถูกเซ็ทให้เป็น output port หมดทั้ง 3 พอร์ต ซึ่ง Port A และ C จะใช้ในการ interface เข้ากับจอแสดงผล LCD ซึ่งรูปร่างและการต่อเข้ากับส่วนประกอบอื่นของระบบนั้นได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2 ส่วนรายละเอียดของวงจรนั้นได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข .

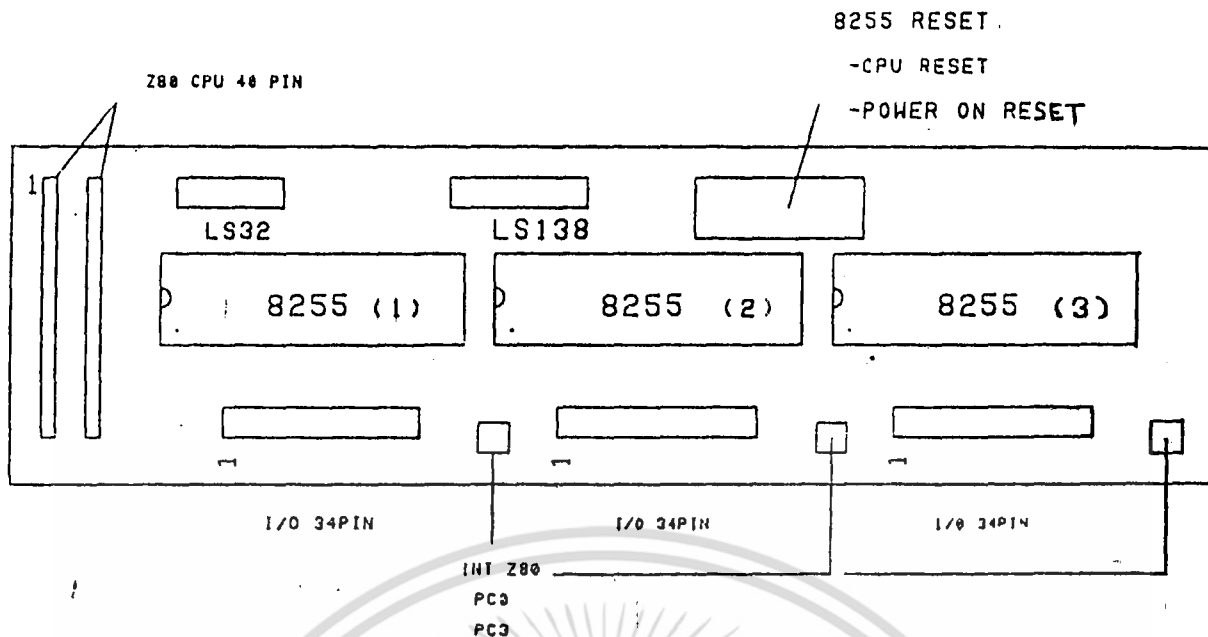


รูปที่ 4.2 ภาพแสดงลักษณะของ Control Board

2) I/O Board

เป็นบอร์ดที่ใช้ขยายส่วน input และ output ของชุด Control Board โดยใช้ IC เบอร์ 8255 3 ตัวเป็น port input/output ซึ่งแต่ละพอร์ตจะมี 8 บิตต่อ 1 พอร์ต โดยที่ 8255 แต่ละตัวจะมี I/O port อยู่ 3 พอร์ต คือพอร์ต A, B และ C ดังนั้นเมื่อเราต่อ I/O Board นี้เข้ากับชุด Control Board จะทำให้เราได้ I/O port เพิ่มขึ้นมากถึง 72 บิตทีเดียว

IC เบอร์ 8255 แต่ละตัวที่อยู่บน I/O Board เราสามารถเซ็ทให้แต่ละพอร์ตเป็น input หรือ output port ก็ได้ โดยส่ง control word ไปยัง control port ซึ่งค่าที่ส่งไปยัง control port นี้ และรายละเอียดต่างๆของ 8255 จะดูได้จากตารางในภาคผนวก ค. และวงจรโดยละเอียดของชุด I/O Board ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.



รูปที่ 4.3 ภาพแสดงลักษณะของ I/O Board

โดยที่ขา I/O port ของ 8255 แต่ละตัวนั้นจะต่อกับส่วนประกอบ
อื่นๆของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นดังนี้

8255 ตัวที่ 1 พอร์ต A,B และ C ถูกเซตให้เป็น input port
แล้วต่อกับส่วน A/D Converter ที่เป็นชุดของหัววัดอุณหภูมิ

8255 ตัวที่ 2 พอร์ต A,B และ C ถูกเซตให้เป็น input port
แล้วต่อกับส่วน A/D Converter ที่เป็นชุดของหัววัดความชื้น

8255 ตัวที่ 3 พอร์ต A จะถูกเซตให้เป็น input port แล้วต่อ
กับส่วน keyboard พอร์ต B จะถูกเซตให้เป็น output port แล้วต่อเข้ากับ
ส่วน Output Control พอร์ต C นั้นวางไว้ เพื่อเอาไว้สามารถขยายระบบ
ได้ในภายหลัง

ชุด I/O Board นี้กินกระแสมาก จึงไม่เหมาะที่จะใช้พร้อมกับ
ชุด Control Board ดังนั้นการต่อชุด I/O Board เข้ากับชุด Control
Board จะต้องตัดขา V_{cc} ของทั้ง 2 ชุดให้ขาดออกจากกัน แล้วจ่ายไฟให้ชุด
I/O Board แยกต่างหากออกไปจากชุด Control Board

3.) Display LCD

เป็นส่วนแสดงผลแบบ Dot Matrix LCD Module ขนาด 1 บรรทัด 16 ตัวอักษร ซึ่งในตัวมันจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบใหญ่ๆแบ่งได้เป็น

1) Dot Matrix LCD เป็นตัวแสดงผลให้เรามองเห็นในลักษณะการปิดและการเปิดตัวเองกับแสง ก็คือส่วนที่เป็นตัวกระจกบรรจุผลึก

2) Driver เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับผลึก LCD อีกทีหนึ่ง

3) Controller เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมา และจัดการควบคุม LCD Module ให้ทำงานแสดงผลต่างๆเช่น การลบจอภาพ ,การสร้างตัวอักษร เป็นต้น

ในการต่อส่วน Display LCD นี้เข้ากับ Control Board นั้นเราต่อเข้ากับขา I/O ของ 8255 โดยที่เราได้เซตให้ Port A และ C เป็น output port เพื่อให้ Port A เป็น data port ที่คอยส่งข้อมูลต่างๆให้แก่ Display LCD และเพื่อให้ Port C เป็น signal port ที่จะคอยควบคุมการทำงานต่างๆของ Display LCD นี้

ซึ่งขาที่ต่อใช้งานของส่วน Display LCD ก็มีต่อไปนี้





1. RS (Register Selection) จะเป็นขาเลือก Register ภายในซึ่งมีอยู่ 2 ตัวคือ Instruction Register (IR) และ Data Register (DR) โดยถ้าเป็น 1 จะเป็นการเลือก Data และถ้าเป็น 0 จะเป็นการเลือก Instruction

2. R/W (Read/Write) เป็นตัวเลือกว่าจะเขียนหรือจะอ่านข้อมูลจากตัว IC โดยอ่านข้อมูล = 1, เขียนข้อมูล = 0

3. E (Enable Signal) เป็นขากำหนดสภาพการรับเขียนอ่านข้อมูล

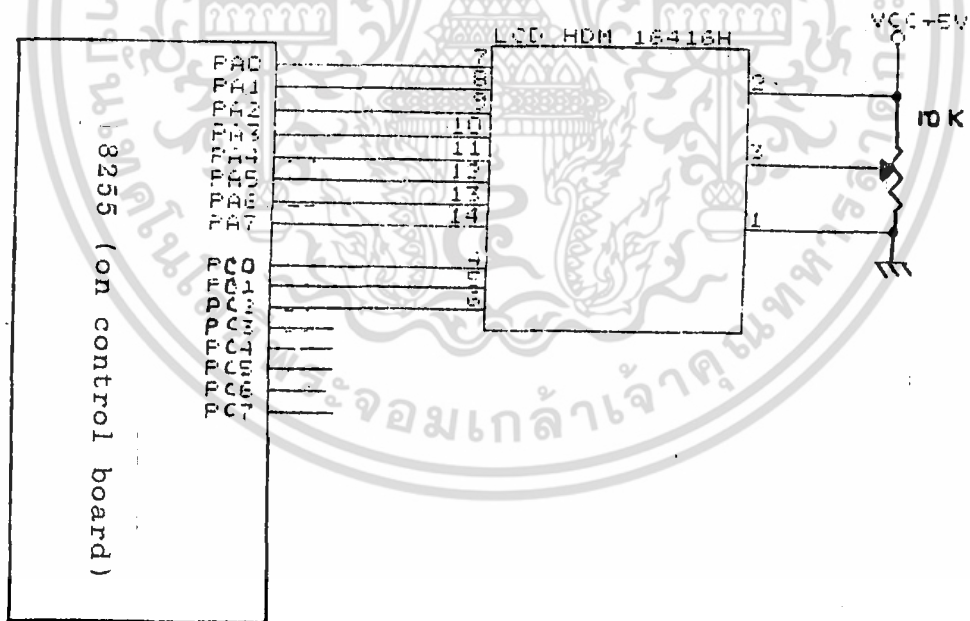
4. DB0-DB7 เป็นขารับส่งข้อมูลจากตัว IC

The relation between the operation and the combination of RS, R/W

| RS | RW | E | OPERATION |
|----|----|---|------------------------------------|
| 0 | 0 |  | Write instruction code |
| 0 | 1 |  | Read busy flag and address counter |
| 1 | 0 |  | Write data |
| 1 | 1 |  | Read data |

When performing data and instruction code by 4 bit, transfer RS, R/W every time.

5. VDD โพลีเลี้ยงตัววงจร
6. VSS เป็นขา GND
7. VO เป็นขารับ Voltage ในการขับ LCD ให้สว่างหรือมืด

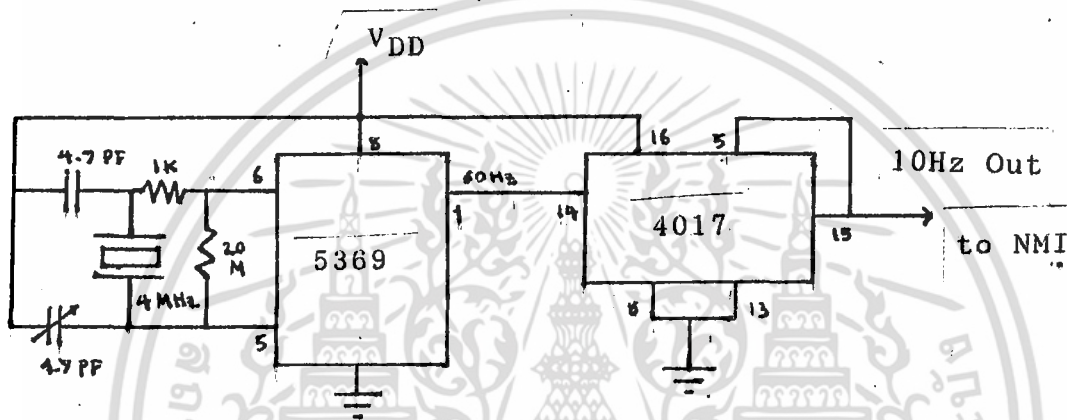


รูปที่ 4.4 การต่อ Display เข้ากับชุด Control Board

ซึ่งการใช้งาน Display LCD นี้จะต้องมีโปรแกรมเป็นตัวคอยกำหนดค่าข้อมูลและสัญญาณควบคุมต่างๆอยู่ด้วย ซึ่งโปรแกรมนี้ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

4) Time base

เป็นส่วนที่สร้างสัญญาณ clock ส่งไปยัง Control Board เพื่อเป็นฐานเวลาให้แก่ CPU ซึ่งในที่นี้ใช้ที่ความถี่ 10 Hz ซึ่งรายละเอียดของวงจรและการต่อเข้ากับระบบ ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 วงจร Time base

ในการบอกเวลาให้กับ CPU นั้นอาจจะใช้การ interface วงจรที่มี IC พวก RTC (Real Time Clock) เช่น MC 146818 เข้ากับ CPU ก็ได้ ซึ่ง IC นี้เป็น IC ชนิด CMOS จึงสามารถสำรองแรงดันได้ด้วยแบตเตอรี่ขนาดเล็ก ถึงแม้เราปิดเครื่องหรือไฟดับ แต่เวลาจริงจะยังคงอยู่ไม่สูญหายไปด้วยและยังคงเดินต่อไปตามปกติ ด้วยเวลาที่ถูกต้อง ซึ่ง RTC นี้จะบอกเวลาได้ตั้งแต่วินาที, นาที, ชั่วโมง, วันในรอบสัปดาห์, วันที่, เดือน, ปี ให้แก่ CPU ได้อย่างเที่ยงตรง โดยที่ CPU เพียงแต่ติดต่อกับ RTC เหมือนกับติดต่อกับหน่วยความจำ หรือพอร์ตเท่านั้น

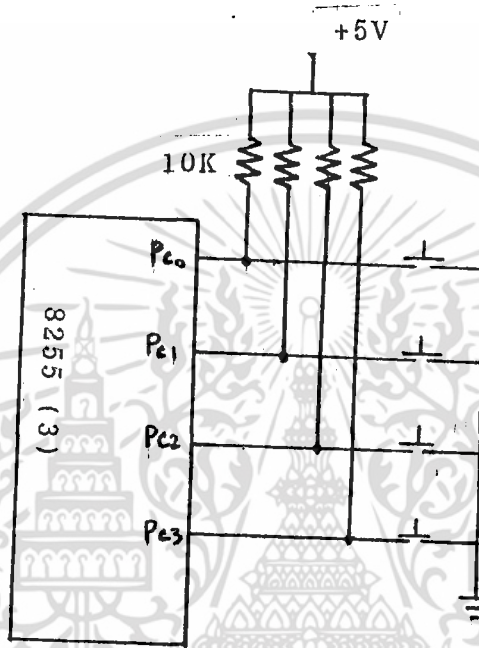
แต่ในการใช้ RTC กับ CPU นั้นยุ่งยากและแพงเกินความจำเป็น ในการใช้งานกับระบบควบคุมความชื้นและอุณหภูมิโดยไมโครโปรเซสเซอร์นี้ เรา จึงใช้หลักการในการสร้างฐานเวลาให้กับ CPU แล้วให้ CPU ทำการนับเวลา เอง โดยการป้อนสัญญาณ Time base ความถี่ 10 Hz เข้าที่ขา NMI ของ Z80 CPU เมื่อสัญญาณตกเป็น "L" ก็จะเป็นการ Non Maskable Interrupt CPU ก็จะได้เก็บ Address ของคำสั่งที่จะต้องทำงานต่อไปไว้ที่ stack ก่อน แล้วก็จึงกระโดดไปเพ็ชข้อมูลที่ Address 0066H มา execute โดยที่ตำแหน่ง 0066H นี้เราจะเขียนโปรแกรมย่อยอันหนึ่งให้ CPU นับจำนวนครั้งที่มีการ Nonmaskable Interrupt โดยที่เนื่องจากสัญญาณที่เข้ามามีความถี่ 10 Hz เมื่อนับครบ 10 ครั้งก็เป็น 1 วินาที ครบ 600 ครั้ง ก็เป็น 1 นาที ครบ 6000 ครั้ง ก็เป็น 1 ชั่วโมง โดยที่ค่าที่นับนี้จะเก็บไว้ใน Address หนึ่งแอส RAM เมื่อ CPU เพ็ชข้อมูลในโปรแกรมย่อยนี้มาทำงานจนหมดแล้วก็จะกระโดดกลับไปยัง Address ของคำสั่งที่จะต้องทำงานต่อไปที่เก็บไว้ใน stack แล้วทำงานต่อตามปกติจนกว่า สัญญาณที่มายังขา NMI จะตกเป็น "L" อีก

CPU ก็จะใช้ข้อมูลที่เก็บไว้ใน RAM ส่วนนี้เป็นเวลาจริงเพื่อนำ ไปแสดงผล หรือใช้ประกอบกับโปรแกรมส่วนอื่นโดยที่การทำงานของโปรแกรมก็จะ ทำไปโดยเหมือนกับว่าไม่มีอะไรมาขัดจังหวะ เลย

ซึ่งข้อดีของการบอกเวลาให้กับ CPU โดยวิธีนี้ก็คือ มีส่วนประกอบ ทางด้าน hardware น้อย ราคาถูก แต่ก็มีข้อเสียคือเมื่อปิดเครื่อง หรือไฟดับ เวลา ก็จะหายไป เมื่อเปิดเครื่องอีกครั้ง เวลา ก็จะเริ่มที่ศูนย์ใหม่ ซึ่งก็ทำให้ต้อง ตั้ง เวลาใหม่ทุกครั้งที่มีการปิดเปิดเครื่อง การตั้งเวลานี้จะใช้ software ในการตั้ง เวลาใหม่ ซึ่งโปรแกรมในส่วนนี้ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก .

5) Keyboard

เป็นส่วนอินพุตอีกส่วนหนึ่งของระบบนี้ เนื่องจากในที่นี้เราใช้ keyboard เพียง 4 คีย์ ดังนั้นจึงต่อเข้ากับ input port โดยตรงเลย ซึ่งในขณะที่ยังไม่กดคีย์ค่าที่ input เข้าไปจะเป็น "H" แต่ถ้ากดคีย์ ค่าที่ input เข้าไปจะเป็น "L" ซึ่งการต่อ keyboard เข้ากับระบบของเรานี้จะต่อกับ



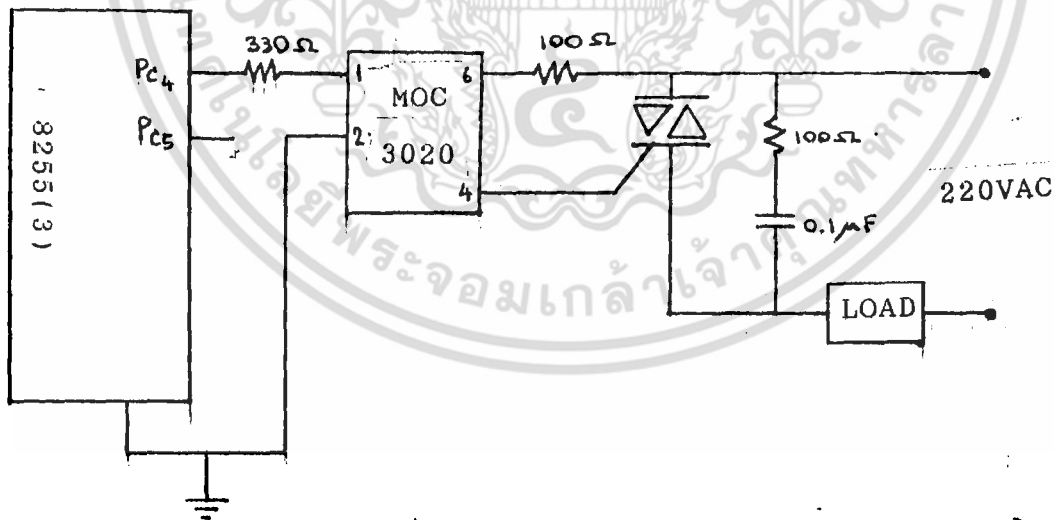
รูปที่ 4.6 การต่อ Keyboard เข้ากับระบบ

ในการกดคีย์แล้วปล่อย 1 ครั้ง จะมีปรากฏการณ์ที่เรียกว่า บาวซ์ (Bounce) หรือ พัลส์แฉกเกิดขึ้น ซึ่งถ้าเราปล่อยไว้เช่นนี้ ในการกดคีย์ของเรา 1 ครั้ง CPU ก็อาจจะเข้าใจว่าเป็นการกดหลายครั้ง เราสามารถแก้ปัญหานี้ได้ โดยการใช้โปรแกรมหน่วงเวลาเข้าช่วย (Debounce) โดยที่เมื่อ CPU อ่านพบว่ามีการกดคีย์เกิดขึ้น ก็จะทำการหน่วงเวลาไว้ช่วงหนึ่ง (ในที่นี้ใช้ 10 ms) ก่อนที่จะมีการ input ค่าคีย์ใหม่เข้ามาอีกครั้งหนึ่ง และเมื่อ CPU อ่านพบว่ามีการปล่อยคีย์เกิดขึ้น ก็จะทำการหน่วงเวลาไว้ช่วงหนึ่งเช่นเดียวกัน ซึ่งโปรแกรมการ Debounce นี้ได้เขียนเป็น program แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

6) Output Control

เป็นส่วนที่เชื่อมต่อมาจาก output port ของ IC เบอร์ 8255 เพื่อทำหน้าที่คอนโทรล อุปกรณ์เอาต์พุตที่ใช้ในการคอนโทรลอุณหภูมิและความชื้นอีกทีหนึ่ง ในนี้มีทั้งหมด 4 chanal โดยที่ chanal ที่ 1 ใช้คอนโทรลอุณหภูมิ และ chanal ที่ 2 ใช้คอนโทรลความชื้น ซึ่งการต่อเข้ากับระบบ จะต่อเข้ากับ IC 8255 ตัวที่ 3 ของส่วน I/O Board ซึ่งจะใช้ Pc4 ต่อกับ chanal 1 ซึ่งเป็น chanal ที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิ Pc5 ต่อกับ chanal 2 ที่ใช้ควบคุมความชื้น ส่วน Pc6 และ Pc7 จะต่อกับ chanal 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งเป็น chanal ที่ปล่อยวางไว้สำหรับการขยายระบบในภายหลัง ซึ่งวงจรและการต่อเข้ากับระบบได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.7

โดยที่ถ้าค่าที่ส่งมาจากพอร์ต ซึ่งเป็นค่าที่แลตซ์ไว้เป็น "H" ก็จะเป็นการกระตุ้น opto coupler (MOC 3020) ให้ส่งกระแสไบทริก triac (MAC 210A6FP) ก็จะทำให้ chanal นั้นๆ มีไฟ (220V on) และถ้าค่าที่ส่งมาจากพอร์ตเป็น "L" ก็จะทำให้ chanal นั้นๆ off



รูปที่ 4.7 วงจรส่วน Output Control และการต่อเข้ากับระบบ

7) Analog to Digital Converter

ในส่วนนี้เป็นการแปลงสัญญาณ analog ที่รับมาจากหัววัดอุณหภูมิและความชื้น ให้เป็นสัญญาณทาง digital เพื่อส่งให้ CPU รับไปประมวลผลอีกทีหนึ่ง ซึ่งในการทางจร A/D Converter จะมี IC สำหรับวงจรนี้ให้เลือกใช้อยู่หลายเบอร์ ซึ่งในส่วน Analog to Digital Converter ของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยไมโครโพรเซสเซอร์ ได้เลือกใช้ IC เบอร์ 7107 มาทำเป็น Digital Voltmeter สำหรับรับค่าแรงดันจากหัววัดอุณหภูมิแล้วแปลงเป็นสัญญาณ digital เพื่อส่งไปให้ CPU และใช้ IC เบอร์ 7107 อีกตัวมาทำเป็น Digital Ampmeter สำหรับรับค่ากระแสจากหัววัดความชื้น ซึ่งวงจรของ Digital Voltmeter และการต่อกับระบบได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.

การต่อวงจร Digital Voltmeter และ Digital Ampmeter นั้นต่างกันเพียงเล็กน้อย คือจากวงจรของ Digital Voltmeter สามารถแปลงให้เป็น Digital Ampmeter ได้โดยเพียงต่อความต้านทาน 1 โอห์ม คร่อมที่ขาอินพุทของวงจร ค่าที่วัดได้ก็จะเป็นค่าของกระแสทันที ซึ่ง Digital Voltmeter จะวัดค่าแรงดันได้อยู่ในช่วง 0-999 mV และ Digital Ampmeter จะวัดค่ากระแสได้อยู่ในช่วง 0-999 mA

8) Sensors

ในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยไมโครโพรเซสเซอร์นี้ ได้มีการใช้หัววัดอยู่ 2 ชนิดคือ หัววัดอุณหภูมิ และหัววัดความชื้น ซึ่งแต่ละชนิดก็จะมีรายละเอียดและการใช้งานดังที่จะอธิบายต่อไปนี้

8.1 Temperature Sensors

หัววัดอุณหภูมินี้มีข้อมูลมากมายหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้โดยทั่วไปนั้นจะแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิดคือ

ก. Thermistor เป็นตัววัดอุณหภูมิที่เป็นสารกึ่งตัวนำ เป็นตัวต้านทานที่แปรผกผันกับอุณหภูมิ เป็นตัววัดที่มีค่า sensitivity สูง แต่จะไม่มีความเป็นเชิงเส้นเลย

ข. Resistance Temperature Detector (RTD) เป็นตัววัดอุณหภูมิอีกชนิดหนึ่ง ทามาจากโลหะและเป็นตัวต้านทานที่แปรผันตรงกับอุณหภูมิเป็นตัววัดที่มี sensitivity ต่ำ แต่จะตอบสนองอย่าง เป็นเชิงเส้นได้ในช่วงกว้าง โลหะที่นิยมใช้คือ Platinum

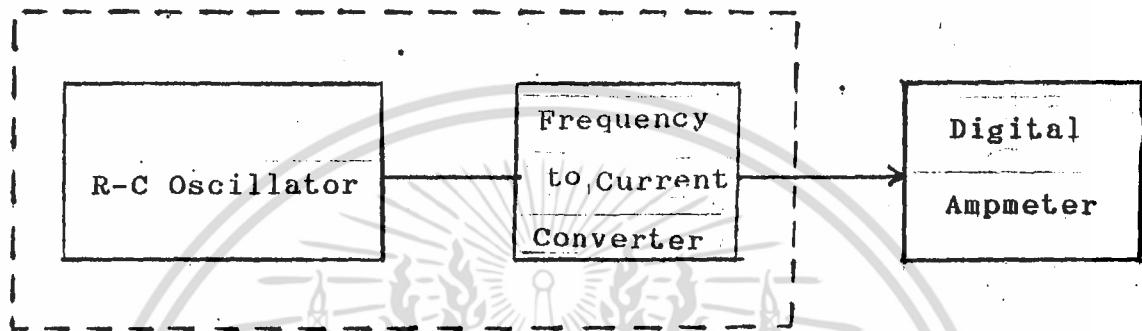
ค. Thermocouple เป็นอุปกรณ์วัดความร้อนที่มี 2 ขา ซึ่งเป็นโลหะหรือ Alloy ที่ไม่เหมือนกัน 2 ชนิด นำมาเชื่อมเข้าด้วยกันที่ปลายข้างหนึ่ง เป็นตัววัดอุณหภูมิที่ใช้หลักการของ Seebeck effect โดยอุณหภูมิที่วัดได้จะหาจากค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากปรากฏการณ์นี้

ง. IC Temperature Sensors เป็นตัววัดอุณหภูมิที่ได้เลือกใช้ในระบบควบคุมความชื้นและอุณหภูมินี้ โดยใช้ IC เบอร์ LM 335 ของ National Semiconductor ซึ่งเป็น IC Temperature Sensor ที่ให้เอาต์พุตเป็น voltage จะทำงานเหมือนเป็น Two Terminal Zener Diode และมี Breakdown voltage เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิ ซึ่งมี sensitivity เท่ากับ $+10 \text{ mV}/^{\circ}\text{K}$ สามารถใช้วัดได้ในย่านอุณหภูมิตั้งแต่ $0-100^{\circ}\text{C}$

ในอากาศ LM 335 จะต้องใช้เวลาประมาณ 3 นาที ที่จะมีค่าอุณหภูมิถึงอุณหภูมิสุดท้าย หลังจากทีอุณหภูมิได้เปลี่ยนแปลงไป และค่าไดนามิคอิมพีแดนซ์จะน้อยกว่า 1 โอห์ม ที่ความถี่สูงกว่า 1 kHz แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 20-30 โอห์ม ที่ความถี่ 100 kHz

ส่วนวงจรที่ใช้นั้นได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.8 วงจรนี้จะให้ output เป็นแรงดัน $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเราก็จะนำ output ของวงจรนี้ไปเข้าวงจร A/D Converter (Digital Voltmeter) เพื่อแปลงเป็นข้อมูลทาง digital เพื่อส่งให้ CPU ประมวลผลต่อไป

เมื่อนำเอาความถี่นี้เข้าวงจร Frequency to Current เรา ก็จะได้ค่า output ออกมาเป็นกระแสที่ขึ้นอยู่กับความถี่ ซึ่งตัววัดนี้จะประกอบด้วยวงจรทั้งหมดที่กล่าวมา ดังที่แสดงไว้ใน block diagram รูปที่ 4.10 ซึ่งตัววัดนี้จะใช้ไฟเลี้ยง 12-18 V และมี sensitivity เท่ากับ 1 mA ต่อความถี่ 5 % ซึ่งตัววัดชนิดนี้สามารถวัดค่าได้แม่นยำอยู่ในช่วงความถี่ 20-90 %



ตัววัดความถี่

รูปที่ 4.10 Block Diagram ของวงจรภายในตัววัดและการทำงาน

บทที่ 5

ระบบการควบคุมและการทดสอบการใช้งาน

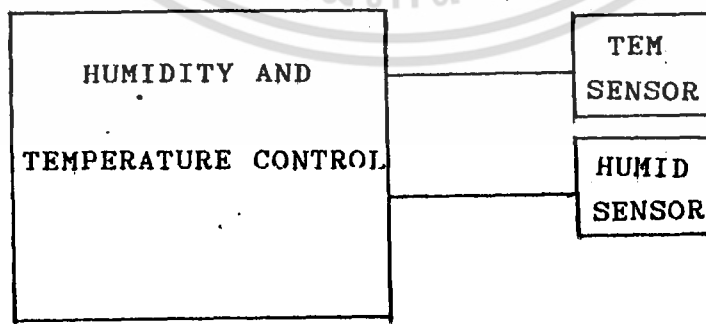
5.1 การทำงานของไมโครโปรเซสเซอร์กับการควบคุม

การทำงานที่มีประสิทธิภาพจริง ๆ จะอยู่ที่โปรแกรมการทำงาน... ดังนั้นโปรแกรมการทำงานจึงเป็นส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่งที่จะต้องรู้ หลักการทำงานของโปรแกรมของเครื่องควบคุม แสดงให้ดู ตาม FLOW CHART

5.2 หลักการควบคุมและหลักการใช้งาน เครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

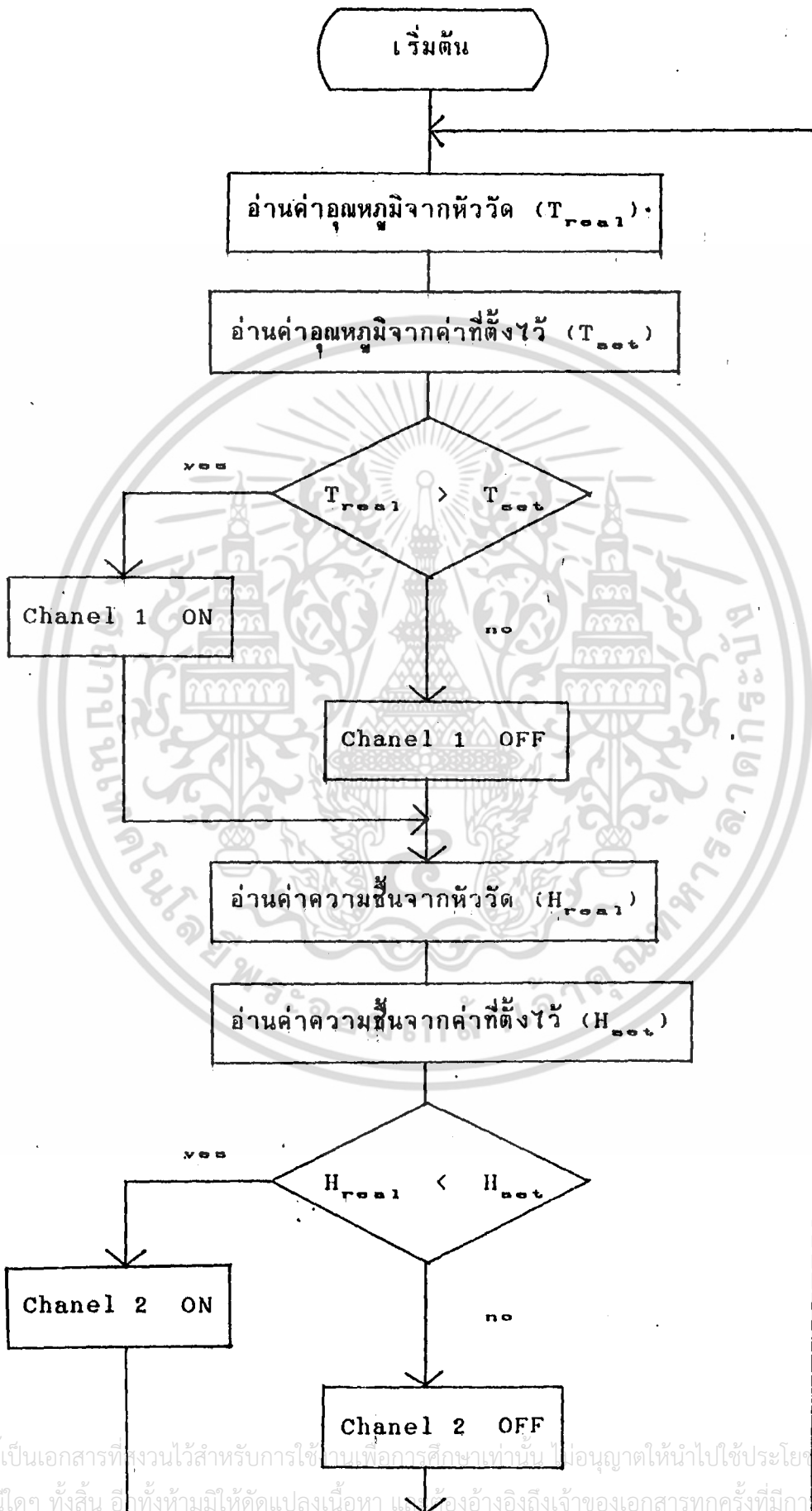
สามารถควบคุม การทำงานของอุปกรณ์ภายนอกได้ 4 อย่าง และมีตัวตรวจจับ 2 ตัว คือ อุณหภูมิ และความชื้น

5.2.1 การใช้งานพื้นฐาน เครื่องควบคุมสามารถใช้งานเป็นมิเตอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นได้ตามปกติ ซึ่งเครื่องจะเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที โดยเก็บข้อมูลไว้ที่หน่วยความจำ ซึ่งสามารถเรียกดูได้ทางจอแสดงผล และนำข้อมูลที่ได้ออกมาทราฟเก็บเป็นสถิติ ใช้ในการพยากรณ์อากาศได้

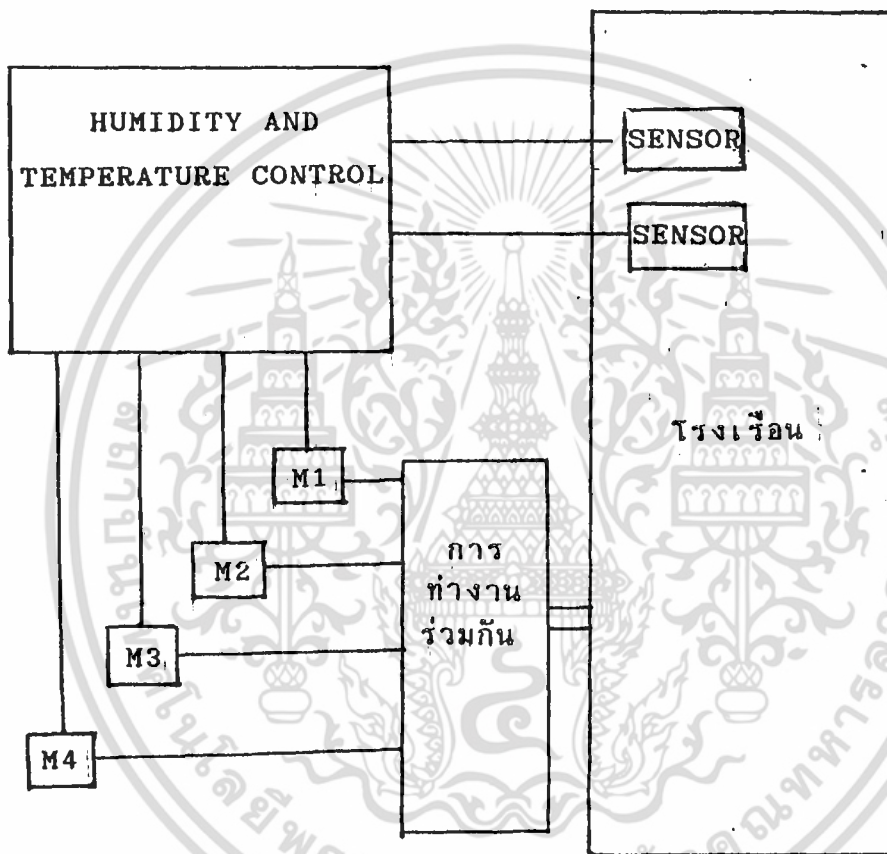


รูปที่ 5.1 แผนผังแสดงการใช้งานเป็นมิเตอร์วัดความชื้น และ วัดอุณหภูมิ

Flow Chart แสดงการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น



5.2.2 การใช้งานในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น การใช้งานของเครื่องนั้นขึ้นอยู่กับการต่ออุปกรณ์ภายนอกที่จะใช้สร้าง ความชื้น และอุณหภูมิ เช่น บั้มลม บั้มน้ำ พัดลม COOLING HEATER โดยอุปกรณ์เหล่านี้ใช้ควบคุมกันตามความต้องการของการใช้งาน โดยแสดงแผนผังการต่อใช้งานดังนี้

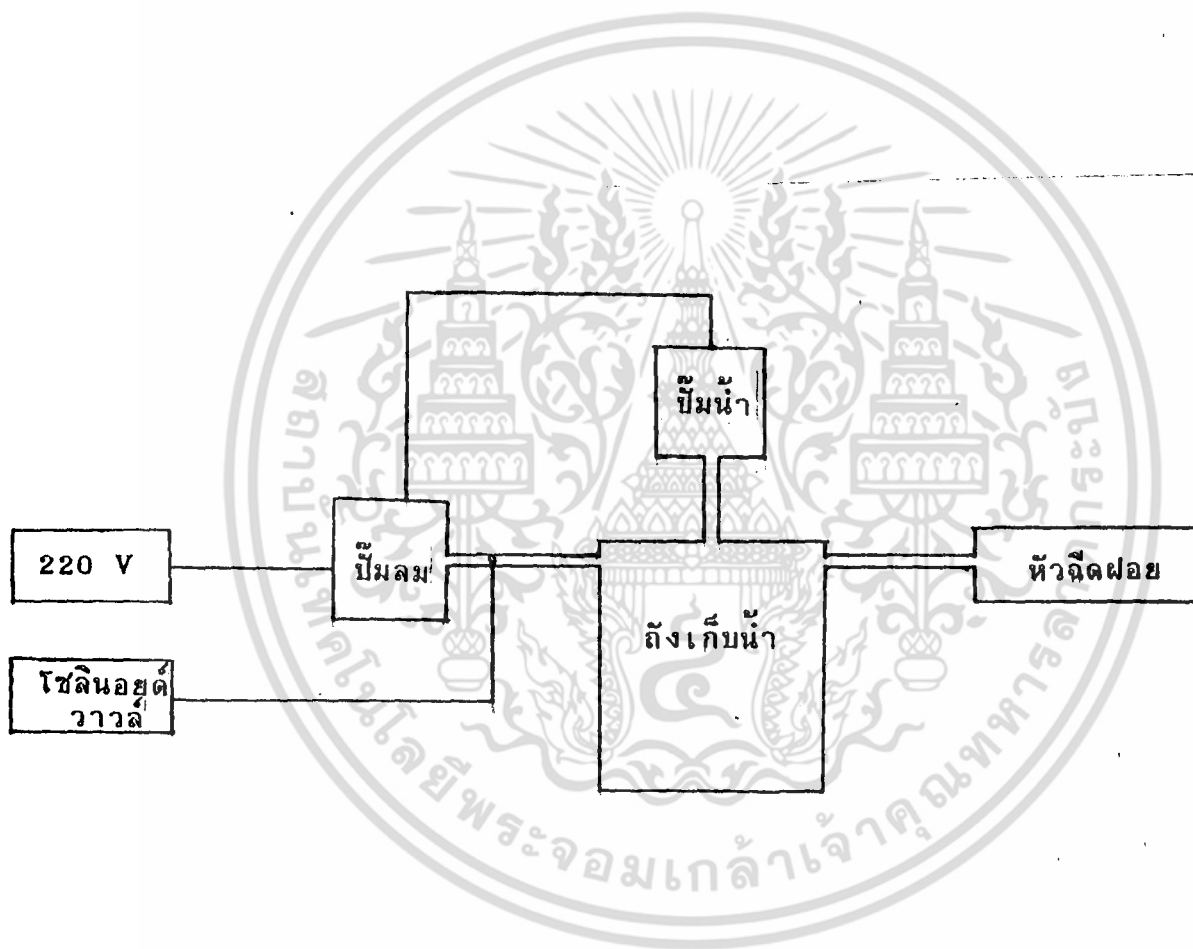


รูปที่ 5.2 แผนผังแสดงการต่อใช้งานของอุปกรณ์ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน 58 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย M1, M2, M3 และ M4 อาจเป็น ปั๊มลม ปั๊มน้ำ พัดลม cooling หรือ heater ก็ได้ ซึ่งก็แล้วแต่การประยุกต์ใช้งาน

5.2.2.1 การใช้งานในการควบคุมความชื้น การทำงานของระบบการควบคุมความชื้น ที่ได้ใช้ในการสร้างความชื้นในระบบนี้ได้ใช้ อุปกรณ์ภายนอก 2 อย่าง คือ ปั๊มลม และ ปั๊มน้ำโดยทั้ง 2 อย่างนี้จะทำงานควบคู่กัน ซึ่งจะเป็นการสร้างระบบฉีดฝอย เพื่อทำความชื้นในอากาศให้เป็นไปตามต้องการโดยมีหลักควบคุม และการทำงานของอุปกรณ์ภายนอกดังนี้



รูปที่ 5.3 แสดงการต่ออุปกรณ์ควบคุมความชื้น

การทำงาน เมื่อความชื้นในระบบที่จะควบคุมนั้นมีความชื้นไม่ถึงตามค่าที่เซตไว้ตามต้องการ โดยได้รับสัญญาณจากหัววัดความชื้น เครื่องควบคุมนั้นก็ส่งสัญญาณไปเปิดวาล์วบีบลมทางด้านเอาท์พุทให้ทำงาน โดยจะเปิดวาล์วในถังฉีดเป็นพวยในระบบโรงเรือน เมื่อความชื้นในระบบถึงค่าความชื้นที่เซตไว้ เครื่องควบคุมก็จะส่งสัญญาณไปปิดวาล์วทางด้านเอาท์พุท ดังนั้นบีบลมก็เริ่มทำงานใหม่พร้อมกับบีบน้ำ จนความดันลมเท่ากับที่ตั้งไว้ ในขณะที่บีบลมและบีบน้ำเริ่มทำงานใหม่นั้น เครื่องควบคุมก็จะไม่มีการส่งสัญญาณไปให้โซลินอยด์วาล์วทางด้านเอาท์พุทของบีบเปิดเพื่อเปิดวาล์วในถังเก็บน้ำ ถึงแม้ว่าความชื้นจะไม่ถึงค่าที่เซตไว้ การหยุดส่งสัญญาณของเครื่องควบคุมนั้น ได้จากการตรวจเช็คโซลินอยด์วาล์วของบีบทางด้านอินพุทโดยเครื่องควบคุมเอง ซึ่งการทำงานจะวนอยู่อย่างนี้ตลอด โดยทดสอบการทำงานอยู่ 2 วัน เครื่องควบคุมก็ยังสามารถควบคุมความชื้นภายในโรงเรือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2.2.2 การใช้งานในการควบคุมอุณหภูมิ ในการใช้งานทางด้าน การควบคุมอุณหภูมินั้น ยังไม่สามารถที่จะเก็บข้อมูลมาได้เนื่องจาก อุปกรณ์ภายนอก และ ระบบโรงเรือนที่ได้สร้างขึ้นมาพร้อมที่จะทำงาน ซึ่งเกิดจากระบบโรงเรือนที่ได้สร้างขึ้นมาไม่เหมาะสมต่อการติดตั้งอุปกรณ์ที่ควบคุมอุณหภูมิ และระยะเวลาในการติดตั้งระบบควบคุมนั้นจำกัดเนื่องจากไปติดตั้งที่ อ่างท้าวศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช ทำให้การทำงานไม่สะดวก ดังนั้นจึงไม่สามารถเก็บข้อมูลทางอุณหภูมิจึงได้ แต่ก็จะเสนอแนะหลักการควบคุมอุณหภูมิไว้ในบทที่ 6

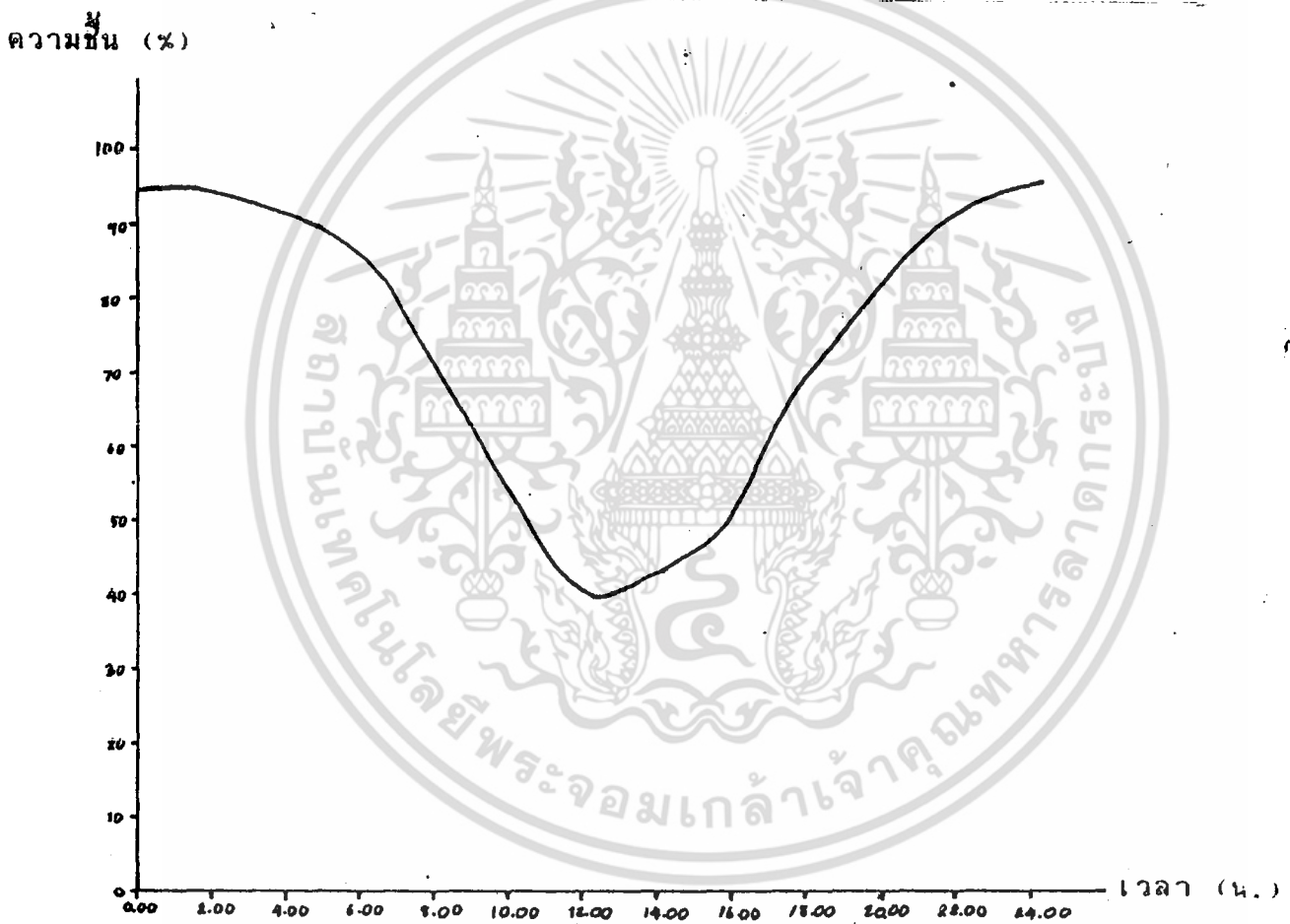
5.3 ข้อมูลจากผลการทดลอง

การเก็บข้อมูล ได้เก็บข้อมูลที่ อ่างท้าวศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 3 วัน

1 วันแรกเก็บข้อมูลโดยไม่ได้ควบคุมความชื้นซึ่งจะ เก็บความชื้นโดยตรงจากอากาศ

2 วันสุดท้าย เก็บข้อมูลโดยทำการควบคุมความชื้น

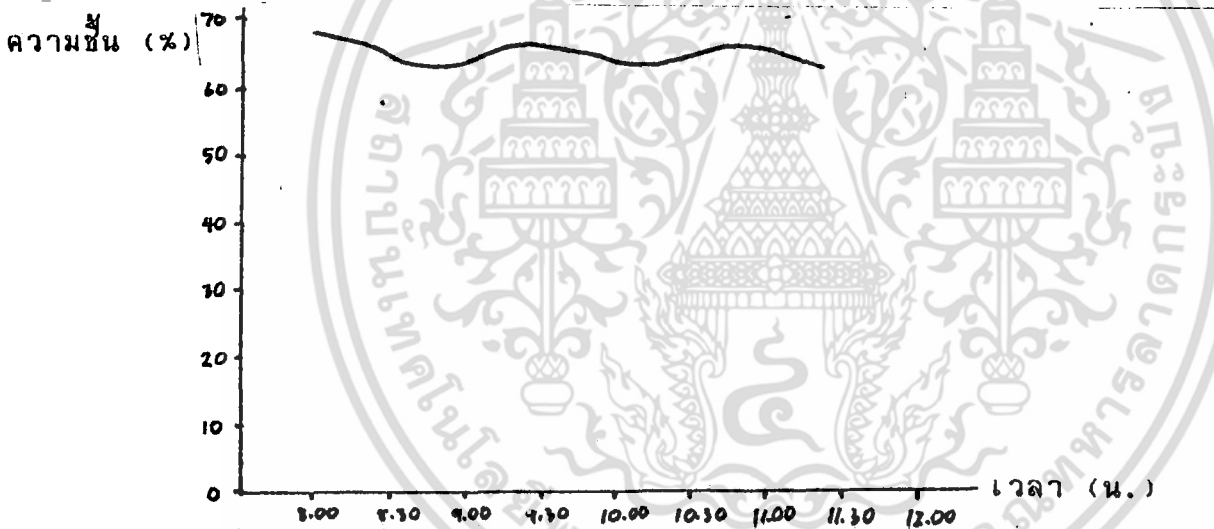
5.3.1 ข้อมูลจากการไม่ได้ควบคุมความชื้นโดยทำการเก็บข้อมูลโดยตรงจากอากาศภายในเวลา 1 วันได้นำข้อมูลมาสร้างกราฟ แสดงไว้ดังกราฟรูปที่ 5.1



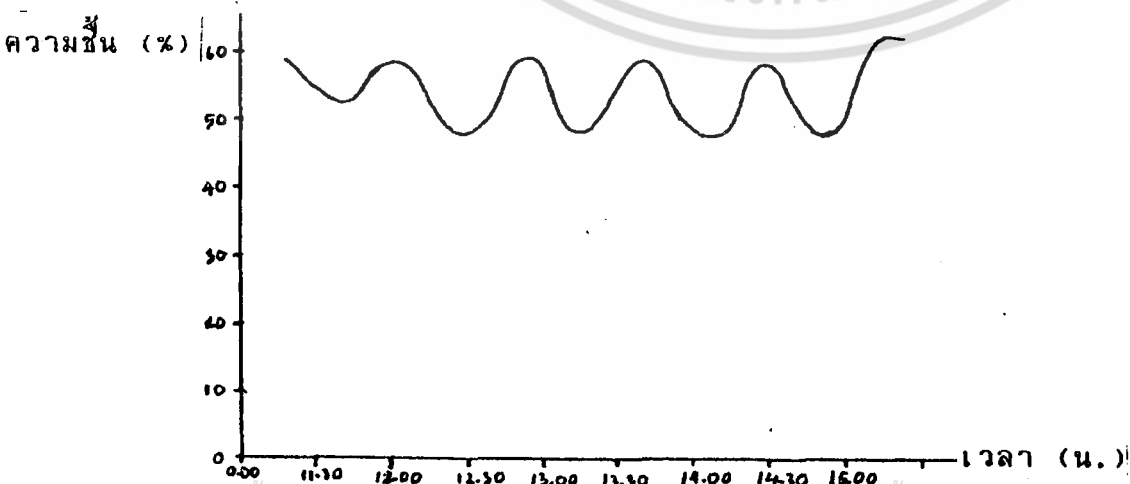
กราฟรูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความชื้นกับเวลาตั้งแต่ 0.00 น.- 24.00 น.

จากกราฟ จะเห็นว่ากรณีที่ไม่ได้ควบคุมความชื้นนั้น ความชื้นภายในช่วงเวลา 11.30 น. - 14.30 น. นั้นต่ำถึง 40 % และช่วงเวลากลางคืนตั้งแต่เวลา 20.00 น. ถึงเวลา 6.00 น. ความชื้นจะขึ้นสูงถึง 85-95 % โดยวันที่ทำการเก็บข้อมูล สภาพอากาศเป็นปกติ

5.3.2 ข้อมูลจากการควบคุมความชื้น โดยเก็บข้อมูลเป็นเวลา 2 วัน เพื่อดูประสิทธิภาพการทำงานของชุดควบคุม การควบคุมความชื้นนั้นจะดูจากความต้องการของพืชเป็นหลัก และดูจากสภาพอากาศและความชื้นขณะนั้นโดยทำการควบคุมความชื้นไว้ 2 ช่วง คือช่วงเวลา 11.30 น. - 14.30 น.ไว้ที่ความชื้น 55 % และ ช่วงเวลา 8.00 น. - 11.29 น. กับช่วงเวลา 14.31 น. - 18.00 น. ไว้ที่ความชื้น 65% ดังนั้นจะได้กราฟของความชื้น ดังกราฟรูป 5.2



กราฟรูปที่ 5.2 แสดงการควบคุมความชื้นระหว่างเวลา 8.00 - 11.29น.



กราฟรูปที่ 5.3 แสดงการควบคุมความชื้นระหว่างเวลา 11.30- 14.30น.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟจะเห็นว่าช่วง เวลา 8.00 น. - 11.29 น. ความชื้น
ภายในระบบมีการเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมออยู่ในย่านของความชื้นที่เซตค่าไว้ซึ่ง
จะเป็นเช่นเดียวกับช่วง เวลา 14.31 น. - 18.00 น. แต่ช่วง เวลา 11.30 น.
- 14.30 น. ความชื้นภายในระบบวิ่ง เร็ว จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทำ
ให้ปั๊มต้องทำงานหนักเพื่อรักษาความชื้นไว้ให้คงที่ แต่ก็ยังสามารถทำงานได้ดี ซึ่ง
กำลังปั๊มลม และ ปั๊มน้ำ ที่ใช้มีขนาด 1.5 แรงม้า และพื้นที่ในการควบคุมมีพื้นที่
100 ตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบการทำงานของระบบการควบคุมจะเห็นว่าจาก
ความชื้นที่ไม่ได้ควบคุมคือ 40 % เมื่อทำการควบคุมโดยควบคุมความชื้นไว้ที่ 55 %
การทำงานของระบบควบคุมก็ยังสามารถทำงานเป็นปกติซึ่งจะรักษาความชื้นไว้ได้ แต่
ถ้าควบคุมความชื้นมากกว่านี้จะส่ง เกตุว่าปั๊มทำงานหนัก ซึ่งการทำงานของ เครื่อง
ควบคุมนั้นขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ภายนอกเป็นส่วนที่สำคัญด้วย

บทที่ 6

ประสิทธิภาพและการประยุกต์ใช้งาน

6.1 ประสิทธิภาพของเครื่อง

เครื่องควบคุมนี้สามารถแสดงเวลา อุณหภูมิ ความชื้น และสามารถเรียกดูข้อมูลได้ตลอดเวลา

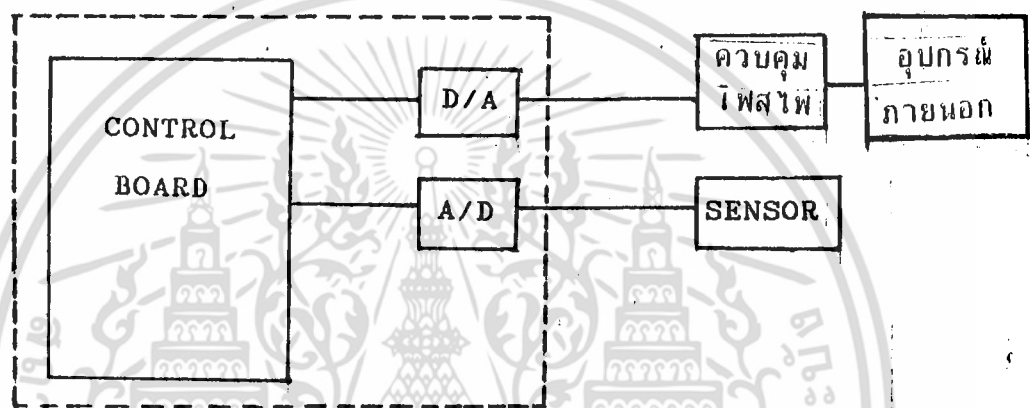
6.1.1 ประสิทธิภาพของการวัดความชื้น เครื่องนี้จะให้ความแม่นยำในการวัดมากที่สุดอยู่ในช่วง 20 - 90 % ซึ่งเป็นช่วงที่หัวโพรบที่ตรวจจับความชื้น ให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ดังนั้นความแม่นยำของค่าความชื้นที่วัดได้ขึ้นอยู่กับหัวโพรบตรวจจับความชื้น แต่สำหรับประสิทธิภาพของการควบคุมความชื้นภายในระบบการควบคุมความชื้น นั้นขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ภายนอกเป็นส่วนสำคัญ

6.1.2 ประสิทธิภาพของการวัดอุณหภูมิ จากการที่ได้ใช้ตัวตรวจจับอุณหภูมิที่เป็น ไอซี คือเบอร์ LM 335 ซึ่งจะตรวจจับอุณหภูมิได้ดีในช่วง 0 - 100 องศาเซลเซียส และมีค่าความคลาดเคลื่อน 2 % ตลอดช่วง ซึ่งเป็นตัวตรวจจับที่เหมาะสมสำหรับการวัดอุณหภูมิในอากาศ และมีการใช้งานที่ง่ายสะดวกต่อการติดตั้ง

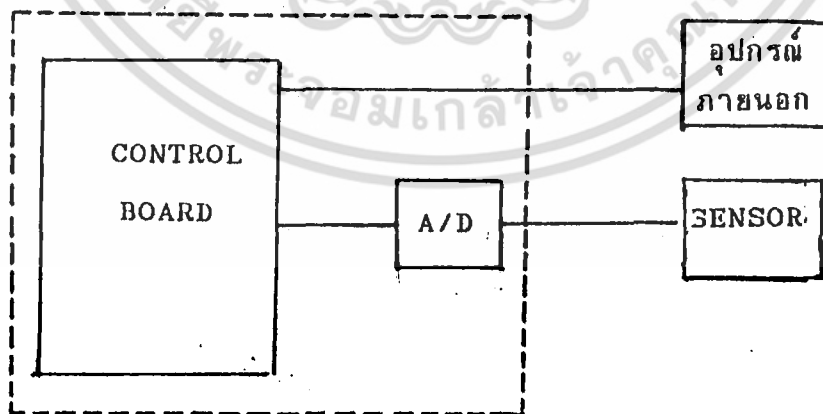
6.2 การประยุกต์ใช้งานในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

เครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่สร้างขึ้น หลักการของการควบคุมของเครื่องจะ ไม่เป็นลักษณะการควบคุมโดยตรงจากเครื่อง คือโดยการแปลง

สัญญาณดิจิทัลไปเป็นแอนาล็อก และไปป้อนให้กับตัวอุปกรณ์สร้างอุณหภูมิ หรือความชื้น ดังรูปที่ 6.1 แต่จะเป็นการควบคุมการปิดเปิดของอุปกรณ์ภายนอกให้ทำงาน ดังรูปที่ 6.2 โดยสัญญาณที่จะส่งไปควบคุมการปิดเปิดนั้น ขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ตั้งไว้ซึ่งตัวตรวจจับทั้ง 2 ตัวจะเป็นตัวตรวจจับและนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการ



รูปที่ 6.1 แสดงการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยตรง



รูปที่ 6.2 แสดงการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่ขึ้นกับอุปกรณ์ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน 65 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

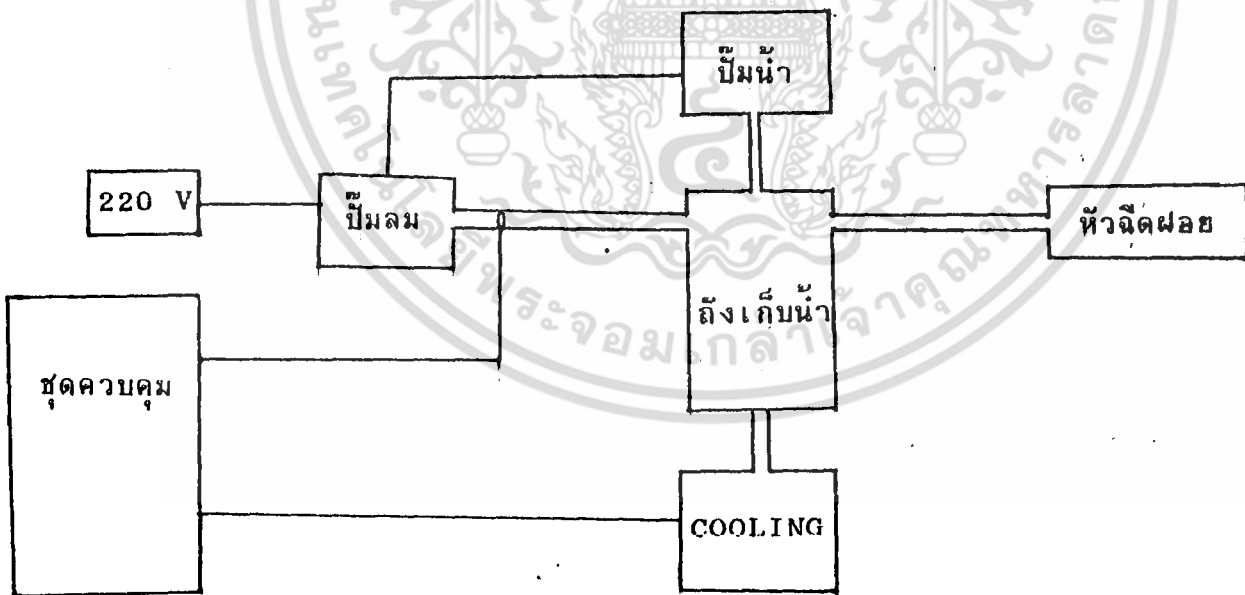
6.3 การติดตั้งอุปกรณ์ในการประยุกต์ใช้งาน

ตั้งที่กล่าวมาแล้ว เครื่องนี้สามารถติดตั้งอุปกรณ์ภายนอกได้ 4 อย่างด้วยกัน แต่จริง ๆ แล้ว สามารถประยุกต์ใช้งานได้มากกว่า 4 อย่าง ซึ่งแล้วแต่การใช้งาน

6.3.1 การติดตั้งอุปกรณ์ภายนอกสำหรับการควบคุมความชื้นในระบบเปิดนั้นได้อธิบายไว้ใน บทที่ 5 ในหัวข้อการใช้งานในการควบคุมความชื้น

6.3.2 การควบคุมความชื้นในระบบปิด จะมีลักษณะ เช่นเดียวกับระบบเปิด แต่จะติดตั้งพัดลมระบายอากาศไว้ด้วย เพื่อสามารถระบายความชื้นภายในระบบ โดยเฉพาะช่วง เวลากลางวันจะมีความชื้นสูง

6.3.3 การควบคุมอุณหภูมิ เป็นลักษณะ เช่นเดียวกับการควบคุมความชื้น แต่หน้าที่ใช้นั้นเป็นหน้าที่เย็น โดยเป็นหน้าที่ได้จากการบีบและนำมาจากตัวทำความเย็น และ ใบพัดที่พัดพวย กรณีที่พัดพวยมากจนกระทั่งความชื้นในระบบมากเกินไป ก็ทำการส่งสัญญาณใบพัดลมทำงานเพื่อระบายอากาศเป็นการทำให้ความชื้นคงที่ สามารถดูการติดตั้งได้ดังรูปที่ 6.3



รูป 6.3 แสดงระบบการควบคุมอุณหภูมิ

6.4 ประโยชน์ของเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

1. ใช้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในระบบโรงเรือนของการปลูกพืชต่างๆ เช่น กุหลาบ กล้วยไม้ และ เห็ด
2. ใช้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในระบบโรงเลี้ยงสัตว์ เช่น ไก่ และ วัว

6.5 การปรับปรุงและการพัฒนา

การปรับปรุงและการพัฒนาเป็นส่วนที่สำคัญของเทคโนโลยี ดังนั้น จึงเห็นว่าเครื่องต้นแบบที่ได้สร้างขึ้นนี้ ยังมีความไม่สมบูรณ์พอที่จะใช้งานได้กว้างกับงานทั่วไป จึงขอเสนอแนะการปรับปรุงและพัฒนาไว้ ณ ที่นี้

6.5.1 การพัฒนา ควรจะเป็นการควบคุมที่ต่อเนื่อง หรือ ควบคุมโดยตรงจากชุดควบคุม โดยทำการเพิ่มวงจร D/A และเพิ่มโปรแกรมการทำงานขึ้นก็จะทำให้ได้ประโยชน์มากมาย

6.5.2 สำหรับการพัฒนาทางด้านการเก็บข้อมูล สามารถที่จะพัฒนาให้เชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ IBM ได้โดยส่งข้อมูลด้วย RS 232

6.5.3 เขียนโปรแกรม ในการตั้ง เวลาในการปิดเปิดอุปกรณ์ภายนอกต่างๆ เช่น ควบคุมระบบการรดน้ำต้นไม้ตามเวลาโปรแกรมได้ ระบบการให้อาหารสัตว์ตามเวลา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมมอนิเตอร์ของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

ORG 0000H

DDISPLAY EQU 2000H

DTIME EQU 2010H

DTIMEDPLAY EQU 2013H

DTEMP EQU 2017H

DSETTEMP EQU 201AH

DHUMID EQU 201DH

DSETHUMID EQU 2020H

DOUTPUT EQU 2023H

DASAVED EQU 2024H

DFULLD EQU 2026H

DBUFFER EQU 2027H

DBUFFERT EQU 2028H

DBT EQU 2029H

DSAVED EQU 202AH

PCONTE EQU F7H

PCONHU EQU FBH

PCONKOP EQU FFH

PCONLCD EQU 03H

PDTE EQU F4H

PDHU EQU F8H

PDKE EQU FCH

PDOP EQU FDH

PDINP EQU FEH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

XOR  A
LD   SP, 3F00H
JP   MAIN

```

```

ORG  0066H           ;
CALL TIME            ;SUBROUTINE TIME FOR NMI
RETN                  ;

```

MAIN

```

XOR  A
LD   IX, DTIME
LD   (IX+00H), A
LD   (IX+01H), A
LD   (IX+02H), A      ;START TIME AT 00:00
LD   A, 9BH           ;ALL PORT INPUT
OUT  (PCONTE), A      ;8255(1) TEMP
OUT  (PCONHU), A      ;8255(2) HUMID
LD   A, 80H           ;ALL PORT OUTPUT
OUT  (PCONLCD), A     ;8255(Z80) LCD
LD   A, 91H           ;Pa Pcl = INPUT , Pb Pch = OUTP
OUT  (PCONKOP), A     ;8255(3) Pa = KEY  Pb = OUTPUT
                          ;Pcl = CHACKPUMP  Pch = RS232

```

```

LD   IX, DSETTEMP
LD   (IX+00H), 30H
LD   (IX+01H), 35H
LD   (IX+02H), 32H    ;DATASETTEMP IS 25.0

```

```

LD   IX, DSETHUMID

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LD (IX+00H), 30H
LD (IX+01H), 30H
LD (IX+02H), 35H ;DATASETHUMID IS 50.0

LD IX, DSAVED
LD (IX+00H), 30H
LD (IX+01H), 31H ;START DATE AT 01

LD IX, DOUTPUT
LD (IX+00H), 00H ;NO OUTPUT

LD IX, DBUFFERT
LD (IX+00H), 20H ;NO POINT

LD IX, DFULLD
LD (IX+00H), 00H ;DATA NO FULL

LD IX, DSAVED
LD (IX+00H), 29H
LD (IX+01H), 20H ;SAVE FIRST DATA AT 2029H

LD IX, DBT
LD (IX+00H), 00H ;START COUNT TIME

LD HL, TABCLEAR
LD A, 07H
CALL DISPLAY ;DISPLAY I'M WORKING !!!

MAIN1 CALL SCANA
CP 01H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

JP    Z,SET
CP    02H

JP    Z,FNTIME
JP    MAIN1

```

```

FNTIME  CALL  CHANGETIME
        LD    HL,TABTIME
        LD    IY,DTIMEDPLAY
        LD    A,00H
        CALL DISPLAY
SCANB   CALL SCAN1
        JP    NC,SCANB
        CALL DELAY
SCANBB  CALL SCAN1
        PUSH AF
        CALL CHANGETIME
        LD    HL,TABTIME
        LD    IY,DTIMEDPLAY
        LD    A,00H
        CALL DISPLAY
        CALL INTH
        CALL CHACK5M
        CALL OUT
        POP  AF
        JP    C,SCANBB
        CALL DELAY
        CALL SCAN1
        CP    01H
        JP    Z,SETCLEAR
        CP    02H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

JP Z, FNTEMP
JP SCANB

FNTEMP LD HL, TABTEMP
LD IY, DTEMP
LD A, 02H
CALL DISPLAY

SCANC CALL SCAN1
JP NC, SCANC
CALL DELAY

SCANCC CALL SCAN1
PUSH AF
LD HL, TABTEMP
LD IY, DTEMP
LD A, 02H
CALL DISPLAY
CALL INTH
CALL CHACK5M
CALL OUT
POP AF
JP C, SCANCC
CALL DELAY
CALL SCAN1
CP 01H
JP Z, SETCLEAR
CP 02H
JP Z, FNHUMID
JP SCANC

FNHUMID LD HL, TABHUMID

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LD IY, DHUMID
LD A, 04H
CALL DISPLAY
SCAND CALL SCAN1
JP NC, SCAND
CALL DELAY
SCANDD CALL SCAN1
PUSH AF
LD HL, TABHUMID
LD IY, DHUMID
LD A, 04H
CALL DISPLAY
CALL INTH
CALL CHACK5M
CALL OUT
POP AF
JP C, SCANDD
CALL DELAY
CALL SCAN1
CP 01H
JP Z, SETCLEAR
CP 02H
JP Z, FNSAVED
JP SCAND

FNSAVED LD HL, TABSAVED
LD IY, DSAVED
LD A, 01H
CALL DISPLAY
SCANE PUSH IY

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CALL SCANA
POP IY
CP 01H
JP Z,SETCLEAR
CP 02H
JP Z,FNTIME
CP 03H
JP Z,SCANIE
JP SCANDE
SCANIE LD BC,000CH
ADD IY,BC
LD (DBUFFER),IY
LD HL,(DBUFFER)
LD A,L
CP 30H
JP Z,IE1
IE2 LD HL,TABSAVED
LD A,01H
CALL DISPLAY
JP SCANE
IE1 LD A,H
CP 3BH
JP NZ,IE2
LD IY,DSAVED
JP IE2
SCANDE LD BC,FFF4H
ADD IY,BC
LD (DBUFFER),IY
LD HL,(DBUFFER)
LD A,L

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CP 24H
JP Z, IE3
IE3 LD A, H
CP 20H
JP NZ, IE2
LD IY, 3B23H
JP IE2

```

```

SETCLEAR LD HL, TABCLEAR
LD A, 07H
CALL DISPLAY
JP MAIN1

```

```

SET LD HL, TABSET
LD A, 06H
CALL DISPLAY

```

```

SETA CALL SCANA
CP 01H
JP Z, SETCLEAR
CP 02H
JP Z, SETTIME
JP SETA

```

```

SETTIME CALL CHANGETIME ;SET HOUR
LD HL, TABSETTIME
LD IY, DTIMEDPLAY
LD A, 0AH
CALL DISPLAY

```

```

SETB CALL SCANA
CP 01H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

JP    Z, SETMINUS
CP    02H
JP    Z, SETTEMP
CP    03H
JP    Z, INCHOUR
JP    DECHOUR

```

```

SETMINUS  CALL  CHANGETIME
          LD    HL, TABSETTIME
          LD    IY, DTIMEDPLAY
          LD    A, 0AH
          CALL  DISPLAY
          CALL  SCANA
          CP    01H
          JP    Z, SETTIME          ;SET HOUR
          CP    02H
          JR    Z, SETTEMP
          CP    03H
          JP    Z, INCMINUS
          JP    DECMINUS

INCHOUR   LD    IX, DTIME
          LD    A, (IX+02H)          ;HOUR (00H-24H)
          INC  A
          DAA
          CP    24H
          JP    NZ, IHOUR
          LD    A, 00H

IHOUR     LD    (IX+02H), A
          JP    SETTIME          ;SETHOUR

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

INCMINUS  LD  IX,DTIME
           LD  A,(IX+01H)      ;MINUS (00H-59H)
           INC  A
           DAA
           CP  60H
           JP  NZ,IMINUS
           LD  A,00H
IMINUS    LD  (IX+01H),A
           JP  SETMINUS
DECHOUR   LD  IX,DTIME
           LD  A,(IX+02H)      ;HOUR (00H-24H)
           DEC  A
           DAA
           CP  99H
           JP  NZ,DHOUR
           LD  A,23H
DHOUR     LD  (IX+02H),A
           JP  SETTIME
DECMINUS  LD  IX,DTIME
           XOR  A
           LD  A,(IX+01H)
           DEC  A
           DAA
           CP  99H
           JP  NZ,DMINUS
           XOR  A
           LD  A,59H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DMINUS LD (IX+01H),A

JP SETMINUS

SETTEMP LD HL,TABSETTEMP ;SETHITEMP

LD IY,DSETTEMP ;CAN SET BETWEEN 10.0 - 49.9 C

LD A,03H

CALL DISPLAY

CALL SCANA

CP 01H

JP Z,SETMIDTEMP

CP 02H

JP Z,SETHUMID

CP 03H

JP Z,INCHITEMP

JP DECHITEMP

SETMIDTEMP LD HL,TABSETTEMP

LD IY,DSETTEMP

LD A,03H

CALL DISPLAY

CALL SCANA

CP 01H

JP Z,SETLOTEMP

CP 02H

JP Z,SETHUMID

CP 03H

JP Z,INCMIDTEMP

JP DECMIDTEMP

SETLOTEMP LD HL,TABSETTEMP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LD IX, DSETTEMP
LD A, 03H
CALL DISPLAY
CALL SCANA
CP 01H
JP Z, SETTEMP
CP 02H
JP Z, SETHUMID
CP 03H
JP Z, INCLOTEMP
JP DECLETEMP
INCHITEMP LD IX, DSETTEMP
LD A, (IX+02H) ;HI TEMP (31H-34H)
INC A
CP 35H
JP NZ, IHTE
LD A, 31H
IHTE LD (IX+02H), A
JP SETTEMP
INCMIDTEMP LD IX, DSETTEMP ;MID TEMP (30H-39H)
LD A, (IX+01H)
INC A
CP 3AH
JP NZ, IMTE
LD A, 30H
IMTE LD (IX+01H), A
JP SETMIDTEMP

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

INCLOTEMP LD IX, DSETTEMP
           LD A, (IX+00H)
           INC A
           CP 3AH
           JP NZ, ILTE
           LD A, 30H

ILTE      LD (IX+00H), A
           JP SETLOTEMP

DECHITEMP LD IX, DSETTEMP
           LD A, (IX+02H)
           DEC A
           CP 30H
           JP NZ, DHTE
           LD A, 34H

DHTE      LD (IX+02H), A
           JP SETTEMP

DECMIDTEMP LD IX, DSETTEMP
           LD A, (IX+01H)
           DEC A
           CP 2FH
           JP NZ, DMTE
           LD A, 39H

DMTE      LD (IX+01H), A
           JP SETMIDTEMP

DECLOTEMP LD IX, DSETTEMP
           LD A, (IX+00H)
           DEC A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CP      2FH
JP      NZ, DLTE
LD      A, 39H
DLTE    LD      (IX+00H), A
        JP      SETLOTEMP

SETHUMID LD      HL, TABSETHUMID      ;SETHIHUMID
        LD      IY, DSETHUMID      ;CAN SET BETWEEN 00.0-99.9 %
        LD      A, 05H
        CALL  DISPLAY
SETD     CALL  SCANA
        CP      01H
        JP      Z, SETMHUMID
        CP      02H
        JP      Z, SETCLEAR
        CP      03H
        JP      Z, INCHIHUMID
        JP      DECHIHUMID

SETMHUMID LD      HL, TABSETHUMID
        LD      IY, DSETHUMID
        LD      A, 05H
        CALL  DISPLAY
        CALL  SCANA
        CP      01H
        JP      Z, SETLOHUMID
        CP      02H
        JP      Z, SETCLEAR
        CP      03H
        JP      Z, INCMHUMID

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

JP      DECMHUMID

SETLOHUMID LD  HL, TABSETHUMID
          LD  IY, DSETHUMID
          LD  A, 05H
          CALL DISPLAY
          CALL SCANA
          CP  01H
          JP  Z, SETHUMID
          CP  02H
          JP  Z, SETCLEAR
          CP  03H
          JP  Z, INCLOHUMID
          JP  DECLOHUMID
INCHIUMID LD  IX, DSETHUMID
          LD  A, (IX+02H)
          INC  A
          DAA
          CP  40H
          JP  NZ, IHHU
          LD  A, 30H
IHHU      LD  (IX+02H), A
          JP  SETHUMID

INCMHUMID LD  IX, DSETHUMID
          LD  A, (IX+01H)
          INC  A
          DAA
          CP  40H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JP NZ, IMHU
LD A, 30H
IMHU LD (IX+01H), A
JP SETMHUMID

INCLOHUMID LD IX, DSETHUMID
LD A, (IX+00H)
INC A
DAA

CP 40H
JP NZ, ILHU
LD A, 30H
ILHU LD (IX+00H), A
JP SETLOHUMID

DECHIHUMID LD IX, DSETHUMID
LD A, (IX+02H)
DEC A
DAA

CP 29H
JP NZ, DHHU
LD A, 39H
DHHU LD (IX+02H), A
JP SETHUMID

DECMHUMID LD IX, DSETHUMID
LD A, (IX+01H)
DEC A
DAA
CP 29H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|------------|-----|--------------------|
| | JP | NZ, DMHU |
| | LD | A, 39H |
| DMHU | LD | (IX+01H), A |
| | JP | SETMHUMID |
| DECLOHUMID | LD | IX, DSETHUMID |
| | LD | A, (IX+00H) |
| | DEC | A |
| | DAA | |
| | CP | 29H |
| | JP | NZ, DLHU |
| | LD | A, 39H |
| DLHU | LD | (IX+00H), A |
| | JP | SETLOHUMID |
| TABTIME | DB | 20H, 54H, 69H, 6DH |
| | DB | 65H, 20H, 69H, 73H |
| | DB | 20H, 20H, FFH, FFH |
| | DB | 3AH, FFH, FFH, 20H |
| TABSETTIME | DB | 53H, 45H, 54H, 20H |
| | DB | 54H, 69H, 6DH, 65H |
| | DB | 20H, 3DH, 20H, FFH |
| | DB | FFH, 3AH, FFH, FFH |
| TABTEMP | DB | 20H, 54H, 65H, 6DH |
| | DB | 70H, 20H, 69H, 73H |
| | DB | 20H, FFH, FFH, 2EH |
| | DB | FFH, DFH, 63H, 20H |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABSETTEMP DB 53H, 45H, 54H, 20H
DB 54H, 65H, 6DH, 70H
DB 20H, 3DH, FFH, FFH
DB 2EH, FFH, DFH, 63H

TABHUMID DB 20H, 48H, 75H, 6DH
DB 69H, 64H, 20H, 69H
DB 73H, 20H, FFH, FFH
DB 2EH, FFH, 25H, 20H

TABSAVED DB 30H, FFH, 20H, FFH
DB FFH, 3AH, FFH, FFH
DB 20H, FFH, FFH, FFH
DB 20H, FFH, FFH, FFH

TABSETHUMID DB 53H, 45H, 54H, 20H
DB 48H, 75H, 6DH, 69H
DB 64H, 20H, 3DH, FFH
DB FFH, 2EH, FFH, 25H

TABSET DB 20H, 20H, 20H, 53H
DB 45H, 54H, 20H, 20H
DB 20H, 20H, 20H, 20H
DB 20H, 20H, 20H, 20H

TABCLEAR DB 20H, 49H, 27H, 6DH
DB 20H, 77H, 6FH, 72H
DB 6BH, 69H, 6EH, 67H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DB 21H, 21H, 21H, 20H

TABNUMBER DB 40H, 79H, 24H, 30H, 19H

DB 12H, 02H, 78H, 00H, 10H

;SUBROUTINE

TIME

PUSH AF

PUSH BC

PUSH DE

PUSH HL

PUSH IX

PUSH IY

LD A, (DBT)

INC A

CP 05H

LD (DBT), A

JP NZ, RETURN

LD A, 00H

LD (DBT), A

LD A, (DBUFFERT)

CP 20H

JP NZ, NPOINT

LD A, 3AH

LD (DBUFFERT), A

JP POINT

NPOINT LD A, 20H

LD (DBUFFERT), A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LD IX, DTIME
LD A, (IX+00H)
INC A
DAA
CP 60H
JP NZ, SEC
LD (IX+00H), 00H
LD A, (IX+01H)
INC A
DAA
CP 60H
JP NZ, MINUS
LD (IX+01H), 00H
LD A, (IX+02H)
INC A
DAA
CP 24H
JP NZ, HOUR
LD (IX+02H), 00H
RETURN POP IY
POP IX
POP HL
POP DE
POP BC
POP AF
RET
SEC LD (IX+00H), A
JP RETURN
MINUS LD (IX+01H), A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        JP    RETURN
HOUR   LD    (IX+02H),A
        JP    RETURN

```

```

CHANGETIME LD    IX,DTIME
          LD    IY,DTIMEDPLAY
          LD    A,(IX+01H)
          CALL X
          LD    (IY+00H),L
          LD    (IY+01H),H
          LD    A,(IX+02H)
          CALL X
          LD    (IY+02H),L
          LD    (IY+03H),H
          RET

```

```

X       LD    H,A
        AND   OFH
        OR    30H
        LD    L,A
        LD    A,H
        SRL  A
        SRL  A
        SRL  A
        SRL  A
        AND   OFH
        OR    30H
        LD    H,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RET

INTH LD IX, DTEMP
LD C, PDTE
CALL IN
LD IX, DHUMID
LD C, PDHU
CALL IN
RET

IN IN D, (C)
INC C
IN L, (C)
INC C
IN H, (C)
LD A, D
CALL CHANGETH
LD (IX+00H), A
LD A, L
CALL CHANGETH
LD (IX+01H), A
LD A, H
CALL CHANGETH
LD (IX+02H), A
RET

CHANGETH LD IY, TABNUMBER
LD E, 00H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LPX      LD    D, (IY+00H)
         CP    D
         PUSH AF
         INC  IY
         INC  E
         POP  AF
         JR   NZ, LPX
         LD   A, 2FH
         ADD  A, E
         RET

```

```

OUT      LD   C, PDINP
         IN   A, (C)
         SRL  A
         JP   C, OUT1
         JP   NOOP

```

```

OUT1     LD   IX, DTEMP
         LD   IY, DSETTEMP
         LD   A, (IX+02H)
         LD   H, (IY+02H)
         CP   H
         JP   Z, OUT2
         JP   C, OUT3
         JP   NC, OUT4

```

```

OUT2     LD   A, (IX+01H)
         LD   H, (IY+01H)
         CP   H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

JP    Z,OUT5
JP    C,OUT3
JP    NC,OUT4
OUT5  LD    A,(IX+00H)
      LD    H,(IY+00H)
      CP    H
      JP    NC,OUT4

OUT3  LD    A,(DOUTPUT)
      RES  0,A
      OUT  (PDOP),A

OUTH  LD    IX,DHUMID
      LD    IY,DSETHUMID
      LD    A,(IX+02H)
      LD    H,(IY+02H)
      CP    H
      JP    Z,OUT6
      JP    C,OUT7
      JP    NC,OUT8

OUT6  LD    A,(IX+01H)
      LD    H,(IY+01H)
      CP    H
      JP    Z,OUT9
      JP    C,OUT7
      JP    NC,OUT8

OUT9  LD    A,(IX+00H)
      LD    H,(IY+00H)
      CP    H
      JP    NC,OUT8

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

OUT7      LD    A, (DOUTPUT)
          SET  1, A
          OUT  (PDOP), A
          RET

```

```

OUT8      LD    A, (DOUTPUT)
          RES  1, A
          OUT  (PDOP), A
          RET

```

```

OUT4      LD    A, (DOUTPUT)
          SET  0, A
          OUT  (PDOP), A
          JP   OUTH

```

```

NOOP      LD    A, (DOUTPUT)
          AND  11111100B
          OUT  (PDOP), A
          RET

```

```

DISPLAY   LD    DE, DDISPLAY ; PREDISPLAY
          LD    BC, 0010H
          LDIR
          LD    IX, DDISPLAY
          CP   00H
          JP   Z, DTID
          CP   01H
          JR   Z, DSAD
          CP   02H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|------|----|-------------|
| | JP | Z, DTE |
| | CP | 03H |
| | JP | Z, DSTE |
| | CP | 04H |
| | JP | Z, DHU |
| | CP | 05H |
| | JP | Z, DSHU |
| | CP | 0AH |
| | JP | Z, DSTID |
| | JP | DPLAY |
| DSHU | LD | A, (IY+00H) |
| | LD | (IX+0EH), A |
| | LD | A, (IY+01H) |
| | LD | (IX+0CH), A |
| | LD | A, (IY+02) |
| | LD | (IX+0BH), A |
| | JP | DPLAY |
| DHU | LD | A, (IY+00H) |
| | LD | (IX+0DH), A |
| | LD | A, (IY+01H) |
| | LD | (IX+0BH), A |
| | LD | A, (IY+02H) |
| | LD | (IX+0AH), A |
| | JP | DPLAY |
| DSTE | LD | A, (IY+00H) |
| | LD | (IX+0DH), A |
| | LD | A, (IY+01H) |
| | LD | (IX+0BH), A |
| | LD | A, (IY+02H) |
| | LD | (IX+0AH), A |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|------|----|-------------|
| | JP | DPLAY |
| DTE | LD | A, (IY+00H) |
| | LD | (IX+0CH), A |
| | LD | A, (IY+01H) |
| | LD | (IX+0AH), A |
| | LD | A, (IY+02H) |
| | LD | (IX+09H), A |
| | JP | DPLAY |
| DSAD | LD | A, (IY+00H) |
| | LD | (IX+01H), A |
| | LD | A, (IY+01H) |
| | LD | (IX+07H), A |
| | LD | A, (IY+02H) |
| | LD | (IX+06H), A |
| | LD | A, (IY+03H) |
| | LD | (IX+04H), A |
| | LD | A, (IY+04H) |
| | LD | (IX+03H), A |
| | LD | A, (IY+05H) |
| | LD | (IX+0BH), A |
| | LD | A, (IY+06H) |
| | LD | (IX+0AH), A |
| | LD | A, (IY+07H) |
| | LD | (IX+09H), A |
| | LD | A, (IY+08H) |
| | LD | (IX+0FH), A |
| | LD | A, (IY+09H) |
| | LD | (IX+0EH), A |
| | LD | A, (IY+0AH) |
| | LD | (IX+0DH), A |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

JP    DPLAY
DTID  LD    A, (DBUFFERT)
      LD    (IX+0CH), A
      LD    A, (IY+00H)
      LD    (IX+0EH), A
      LD    A, (IY+01H)
      LD    (IX+0DH), A
      LD    A, (IY+02H)
      LD    (IX+0BH), A
      LD    A, (IY+03H)
      LD    (IX+0AH), A
      JP    DPLAY
DSTID LD    A, (IY+00H)
      LD    (IX+0FH), A
      LD    A, (IY+01H)
      LD    (IX+0EH), A
      LD    A, (IY+02H)
      LD    (IX+0CH), A
      LD    A, (IY+03H)
      LD    (IX+0BH), A
DPLAY LD    HL, DDISPLAY ; DISPLAY
      CALL INITLCD
      LD    A, 01H
      CALL WRLINE
      LD    A, 02H
      CALL WRLINE
      RET
INITLCD LD    A, 00H
        OUT (02H), A ; Pc = Psign

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LD    A,38H
OUT   (00H),A      ;Pa = Pdata
LD    A,00H
CALL  EPLUSE
CALL  DELAY
LD    A,0CH
OUT   (00H),A
LD    A,00H
CALL  EPLUSE
LD    A,06H
OUT   (00H),A
LD    A,00H
CALL  EPLUSE
RET
WRLINE CP    01H
        JP    Z,WRL1
        CP    02H
        JP    Z,WRL2
        RET

WRL1   LD    A,00H
        CALL GOTO
        JP    WRLM

WRL2   LD    A,40H
        CALL GOTO

WRLM   LD    B,08H

WRL    LD    D,(HL)
        PUSH BC
        CALL WRBYTE

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

POP BC
INC HL
DJNZ WRL
RET

EPLUSE SET 2, A
OUT (02H), A
LD B, 00H
EP1 DJNZ EP1
RES 2, A
OUT (02H), A
RET

GOTO PUSH BC
SET 7, A
OUT (0GH), A
XOR A
OUT (02H), A
CALL EPLUSE
POP BC
RET

WRBYTE LD A, 01H
OUT (02H), A
LD A, D
OUT (00H), A
LD A, 01H
CALL EPLUSE
RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DELAY LD B,00H
DEY NOP
NOP
DJNZ DEY
RET
```

```
SCANA CALL SCAN1
JP NC,SCANA
CALL DELAY
SCANAA CALL SCAN1
PUSH AF
CALL INTH
CALL CHACK5M
CALL OUT
POP AF
JP C,SCANAA
CALL DELAY
CALL SCAN1
RET
```

```
SCAN1 LD C,PDKE
IN A,(C)
LD B,04H
LD D,00H
LPSC RRC A
PUSH AF
INC D
POP AF
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

JP    NC,LPSC1
DJNZ LPSC
LPSC1 LD    A,D
      RET

CHACK5M LD    IX,DFULLD
        LD    A,(IX+00H)
        CP    00H
        JP    Z,CHACK5M1
        RET
CHACK5M1 LD    IX,DTIME
          LD    IY,(DASAVED)
          LD    A,(IX+01H)
          CP    00H
          JP    Z,CHX
CHX1    LD    A,(IX+01H)
        AND    OFH
        CP    00H
        JP    Z,CH5M
        RET
OCH5M  LD    A,(IY+00H)
        LD    (IY+0BH),A
        LD    HL,(DASAVED)
        LD    BC,0BH
        ADD   HL,BC
        LD    (DASAVED),HL
        RET
CHX    LD    A,(IX+02H)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

JP      CHX1

CHSM    LD      IX,DTIMEDPLAY      ;SAVE TIME
        LD      A,(IX+00H)
        LD      (IY+01H),A
        LD      A,(IX+01H)
        LD      (IY+02H),A
        LD      A,(IX+02H)
        LD      (IY+03H),A
        LD      A,(IX+03H)
        LD      (IY+04H),A
        LD      IX,DTEMP          ;SAVE TEMP
        LD      A,(IX+00H)
        LD      (IY+05H),A
        LD      A,(IX+01H)
        LD      (IY+06H),A
        LD      A,(IX+02H)
        LD      (IY+07H),A
        LD      IX,DHUMID        ;SAVE HUMID
        LD      A,(IX+00H)
        LD      (IY+08H),A
        LD      A,(IX+01H)
        LD      (IY+09H),A
        LD      A,(IX+02H)
        LD      (IY+0AH),A
        JP      OCH5M

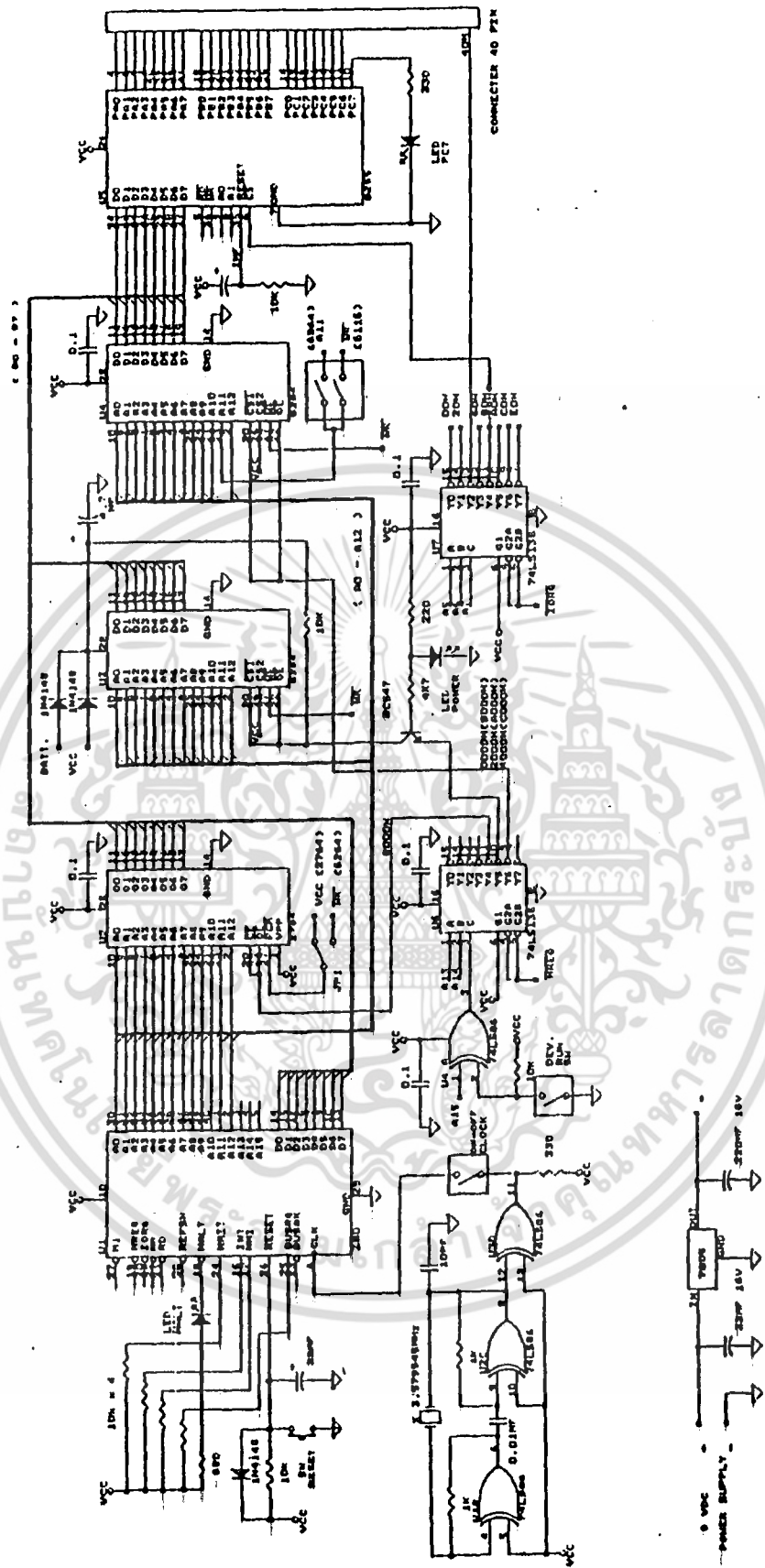
FULLD   LD      A,01H
        LD      (DFULLD),A
        RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

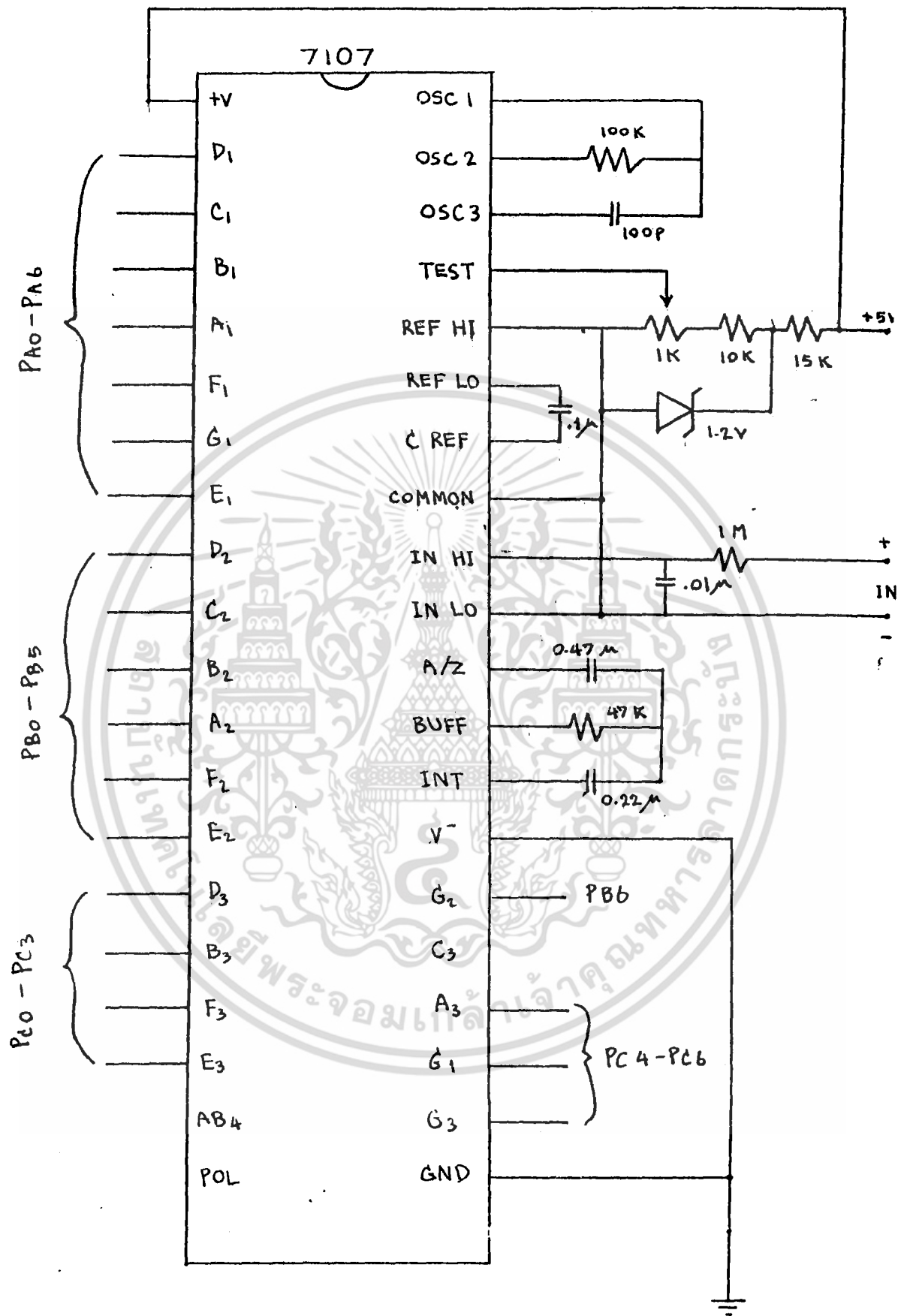


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 34 วงจรของชุด Control Board

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจร Digital Meter โดยใช้ IC เบอร์ 7107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้;



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8255A OPERATIONAL DESCRIPTION

Mode Selection

There are three basic modes of operation that can be selected by the system software:

- Mode 0 - Basic Input/Output
- Mode 1 - Strobed Input/Output
- Mode 2 - Bi-Directional Bus

When the reset input goes "high" all ports will be set to the input mode (i.e., all 24 lines will be in the high impedance state). After the reset is removed the 8255A can remain in the input mode with no additional initialization required. During the execution of the system program any of the other modes may be selected using a single output instruction. This allows a single 8255A to service a variety of peripheral devices with a simple software maintenance routine.

The modes for Port A and Port B can be separately defined, while Port C is divided into two portions as required by the Port A and Port B definitions. All of the output registers, including the status flip-flops, will be reset whenever the mode is changed. Modes may be combined so that their functional definition can be "tailored" to almost any I/O structure. For instance: Group B can be programmed in Mode 0 to monitor simple switch closings or display computational results. Group A could be programmed in Mode 1 to monitor a keyboard or tape reader on an interrupt-driven basis.

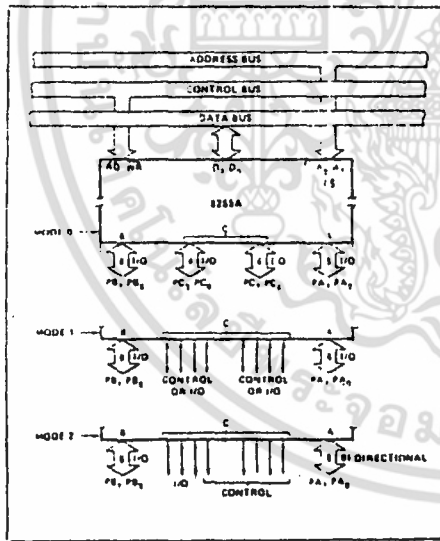


Figure 5. Basic Mode Definitions and Bus Interface

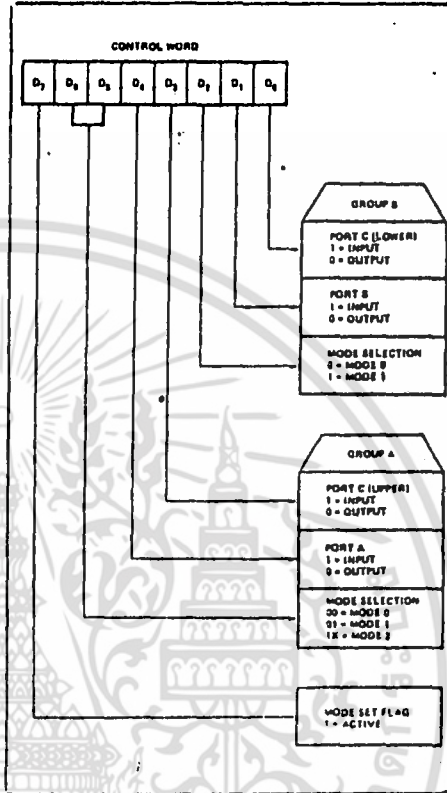


Figure 6. Mode Definition Format

The mode definitions and possible mode combinations may seem confusing at first but after a cursory review of the complete device operation a simple, logical I/O approach will surface. The design of the 8255A has taken into account things such as efficient PC board layout, control signal definition vs. PC layout and complete functional flexibility to support almost any peripheral device with no external logic. Such design represents the maximum use of the available pins.

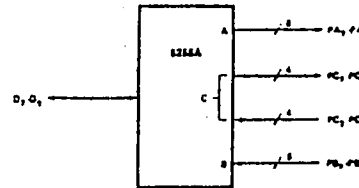
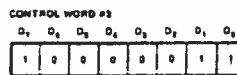
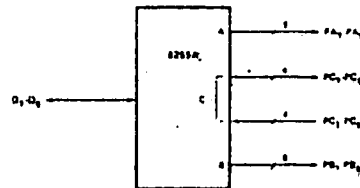
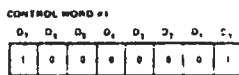
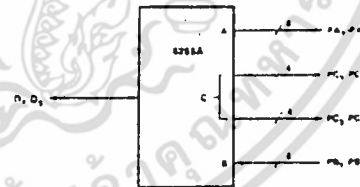
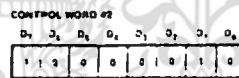
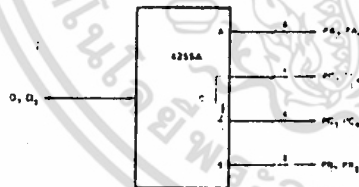
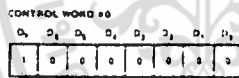
Single Bit Set/Reset Feature

Any of the eight bits of Port C can be Set or Reset using a single OUTput instruction. This feature reduces software requirements in Control-based applications.

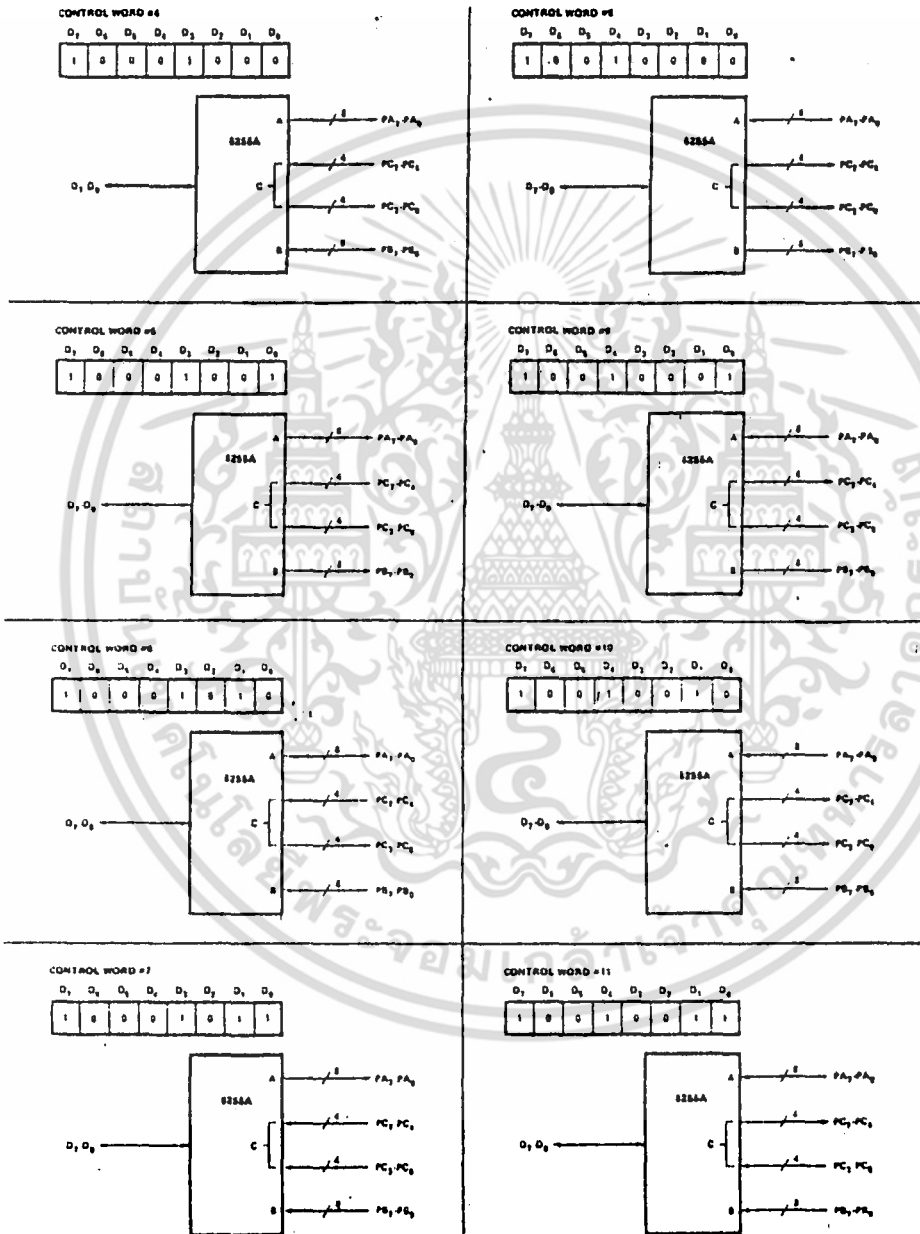
MODE 0 Port Definition

| A | | B | | GROUP A | | GROUP B | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|---------|----------------|---------|--------|----------------|
| D ₄ | D ₃ | D ₁ | D ₀ | PORT A | PORT C (UPPER) | # | PORT B | PORT C (LOWER) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | OUTPUT | OUTPUT | 0 | OUTPUT | OUTPUT |
| 0 | 0 | 0 | 1 | OUTPUT | OUTPUT | 1 | OUTPUT | INPUT |
| 0 | 0 | 1 | 0 | OUTPUT | OUTPUT | 2 | INPUT | OUTPUT |
| 0 | 0 | 1 | 1 | OUTPUT | OUTPUT | 3 | INPUT | INPUT |
| 0 | 1 | 0 | 0 | OUTPUT | INPUT | 4 | OUTPUT | OUTPUT |
| 0 | 1 | 0 | 1 | OUTPUT | INPUT | 5 | OUTPUT | INPUT |
| 0 | 1 | 1 | 0 | OUTPUT | INPUT | 6 | INPUT | OUTPUT |
| 0 | 1 | 1 | 1 | OUTPUT | INPUT | 7 | INPUT | INPUT |
| 1 | 0 | 0 | 0 | INPUT | OUTPUT | 8 | OUTPUT | OUTPUT |
| 1 | 0 | 0 | 1 | INPUT | OUTPUT | 9 | OUTPUT | INPUT |
| 1 | 0 | 1 | 0 | INPUT | OUTPUT | 10 | INPUT | OUTPUT |
| 1 | 0 | 1 | 1 | INPUT | OUTPUT | 11 | INPUT | INPUT |
| 1 | 1 | 0 | 0 | INPUT | INPUT | 12 | OUTPUT | OUTPUT |
| 1 | 1 | 0 | 1 | INPUT | INPUT | 13 | OUTPUT | INPUT |
| 1 | 1 | 1 | 0 | INPUT | INPUT | 14 | INPUT | OUTPUT |
| 1 | 1 | 1 | 1 | INPUT | INPUT | 15 | INPUT | INPUT |

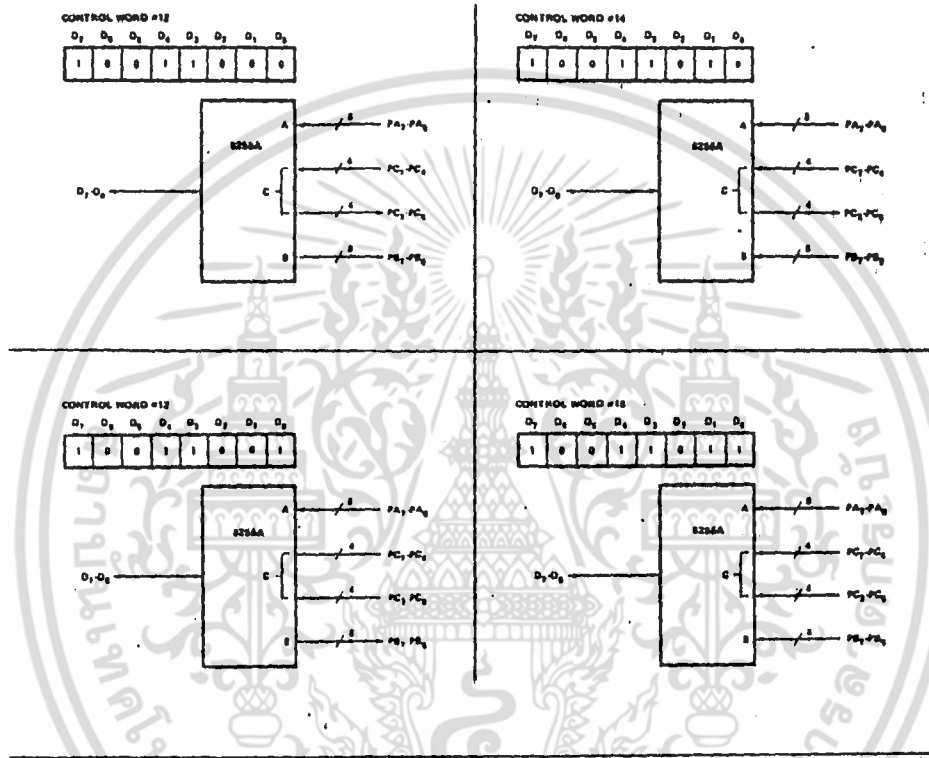
MODE 0 Configurations



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Operating Modes

MODE 1 (Strobed Input/Output). This functional configuration provides a means for transferring I/O data to or from a specified port in conjunction with strobes or "handshaking" signals. In mode 1, port A and Port B use the lines on port C to generate or accept these "handshaking" signals.

Mode 1 Basic Functional Definitions:

- Two Groups (Group A and Group B)
- Each group contains one 8-bit data port and one 4-bit control/data port.
- The 8-bit data port can be either input or output. Both inputs and outputs are latched.
- The 4-bit port is used for control and status of the 8-bit data port.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INTERSiL

ICL7106/7107 3 1/2 Digit Single Chip A/D Converter

FEATURES

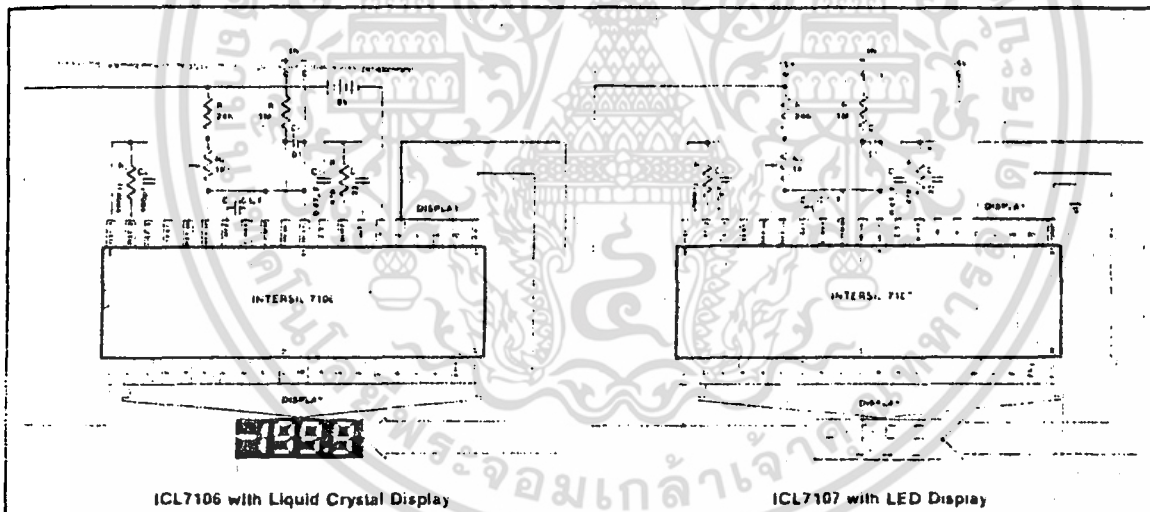
- Guaranteed zero reading for 0 volts input on all scales.
- True polarity at zero for precise null detection.
- 1 pA typical input current.
- True differential input and reference.
- Direct display drive - no external components required. — LCD ICL7106
— LED ICL7107
- Low noise - less than 15µV p-p.
- On-chip clock and reference.
- Low power dissipation - typically less than 10mW.
- No additional active circuits required.
- Evaluation Kit available.

GENERAL DESCRIPTION

The Intersil ICL7106 and 7107 are high performance, low power 3-1/2 digit A/D converters containing all the necessary active devices on a single CMOS I.C. Included are seven-segment decoders, display drivers, reference, and a clock. The 7106 is designed to interface with a liquid crystal display (LCD) and includes a backplane drive; the 7107 will directly drive an instrument-size light emitting diode (LED) display.

The 7106 and 7107 bring together an unprecedented combination of high accuracy, versatility, and true economy. High accuracy like auto-zero to less than 10µV, zero drift of less than 1µV/°C, input bias current of 10pA max., and rollover error of less than one count. The versatility of true differential input and reference is useful in all systems, but gives the designer an uncommon advantage when measuring load cells, strain gauges and other bridge-type transducers. And finally the true economy of single power supply operation (7106), enabling a high performance panel meter to be built with the addition of only 7 passive components and a display.

4



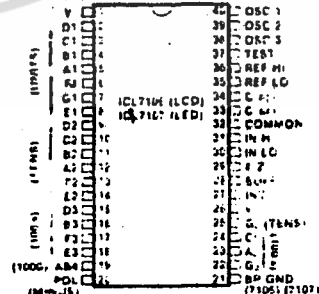
ICL7106 with Liquid Crystal Display

ICL7107 with LED Display

ORDERING INFORMATION

| Part | Package | Temp. Range | Order Part # |
|----------|---|--------------|---------------|
| 7106 | 40 pin ceramic DIP | 0°C to +70°C | ICL7106CDL |
| 7106 | 40 pin plastic DIP | 0°C to +70°C | ICL7106CPL |
| 7106 | 40 pin CERDIP | 0°C to +70°C | ICL7106CJL |
| 7107 | 40 pin CERDIP | 0°C to +70°C | ICL7107CJL |
| 7107 | 40 pin ceramic DIP | 0°C to +70°C | ICL7107CDL |
| 7107 | 40 pin plastic DIP | 0°C to +70°C | ICL7107CPL |
| 7106 Kit | Evaluation kits contain IC, display, circuit board, passive components and hardware | | ICL7106EV/KIT |
| 7107 Kit | Evaluation kits contain IC, display, circuit board, passive components and hardware | | ICL7107EV/KIT |

PIN CONFIGURATION (Outline awgs DL, JL, PL)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| | |
|--|----------------------------------|
| Supply Voltage (V ⁺) | |
| ICL7106 | 15V |
| ICL7107 | +6V |
| Supply Voltage (V ⁻) | |
| ICL7106 | 15V |
| ICL7107 | -9V |
| Analog Input Voltage (either input) (Note 1) | V ⁺ to V ⁻ |
| Reference Input Voltage (either input) | V ⁺ to V ⁻ |
| Clock Input | |
| ICL7106 | Test to V ⁺ |
| ICL7107 | Gnd to V ⁺ |

| | |
|--|-----------------|
| Power Dissipation (ICL7106 Note 2; ICL7107 Note 1) | |
| Ceramic Package | 1000mW |
| Plastic Package | 800mW |
| Operating Temperature | 0°C to +70°C |
| Storage Temperature | -65°C to +160°C |
| Lead Temperature (Soldering, 60 sec) | 300°C |

Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Note 1: Input voltages may exceed the supply voltages provided the input current is limited to $\pm 100\mu\text{A}$.

Note 2: Dissipation rating assumes device is mounted with all leads soldered to printed circuit board.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Note 3)

| CHARACTERISTICS | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|--|--|--------|----------|--------|-----------------|
| Zero Input Reading | V _{IN} = 0.0V Full Scale = 200.0mV | -000.0 | ±000.0 | +000.0 | Digital Reading |
| Ratiometric Reading | V _{IN} = V _{REF} V _{REF} = 100mV | 999 | 999/1000 | 1000 | Digital Reading |
| Rollover Error (Difference in reading for equal positive and negative reading near Full Scale) | -V _{IN} = +V _{IN} = 200.0mV | -1 | ±2 | +1 | Counts |
| Linearity (Max. deviation from best straight line fit) | Full scale = 200mV or full scale = 2.000V | -1 | ±2 | +1 | Counts |
| Common Mode Rejection Ratio (Note 4) | V _{CM} = ±1V, V _{IN} = 0V Full Scale = 200.0mV | | 50 | | μV/V |
| Noise (Pk-Pk value not exceeded 95% of time) | V _{IN} = 0V Full Scale = 200.0mV | | 15 | | μV |
| Leakage Current Input | V _{IN} = 0 | | 1 | 10 | pA |
| Zero Reading Drift | V _{IN} = 0 0° < T _A < 70°C | | 0.2 | 1 | μV/°C |
| Scale Factor Temperature Coefficient | V _{IN} = 199.0mV 0° < T _A < 70°C Ext. Ref. 0ppm/°C | | 1 | 5 | ppm/°C |
| V ⁺ Supply Current (Does not include LED current for 7107) | V _{IN} = 0 | | 0.8 | 1.8 | mA |
| V ⁻ Supply Current (7107 only) | | | 0.6 | 1.6 | mA |
| Analog Common Voltage (with respect to Pos. Supply) | 25kΩ between Common & Pos. Supply | 2.4 | 2.8 | 3.2 | V |
| Temp. Coeff. of Analog Common (with respect to Pos. Supply) | 25kΩ between Common & Pos. Supply | | 80 | | ppm/°C |
| 7106 ONLY Pk-Pk Segment Drive Voltage, Pk-Pk Backplane Drive Voltage (Note 5) | V ⁺ to V ⁻ = 9V | 4 | 5 | 6 | V |
| 7107 ONLY Segment Sinking Current (Except Pin 19) | V ⁻ = 5.0V Segment voltage = 3V | 5 | 8.0 | | mA |
| (Pin 19 only) | | 10 | 16 | | mA |

Note 3: Unless otherwise noted, specifications apply to both the 7106 and 7107 at T_A = 25°C, f_{clock} = 48kHz. 7106 is tested in the circuit of Figure 1. 7107 is tested in the circuit of Figure 2.

Note 4: Refer to "Differential Input" discussion below.

Note 5: Back plane drive is in phase with segment drive for "off" segment, 180° out of phase for "on" segment. Frequency is 20 times conversion rate. Average DC component is less than 50mV.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICL7106/ICL7107

TEST CIRCUITS

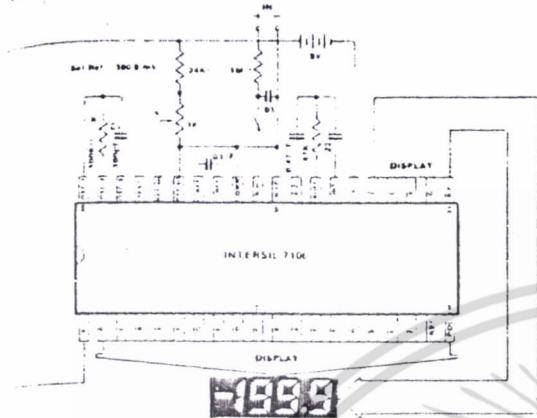


Figure 1: 7106

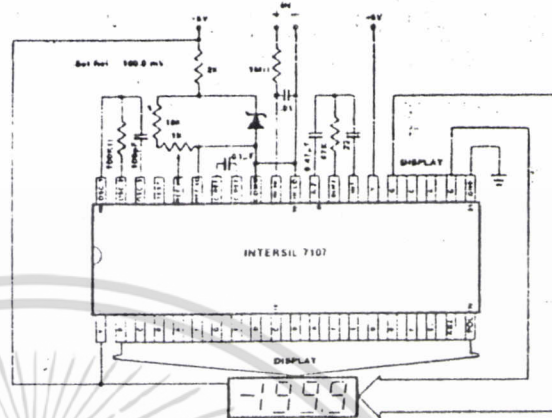


Figure 2: 7107

DETAILED DESCRIPTION ANALOG SECTION

Figure 3 shows the Block Diagram of the Analog Section for the ICL 7106 and 7107. Each measurement cycle is divided

into three phases. They are (1) auto-zero (A-Z), (2) signal integrate (INT) and (3) deintegrate (DE).

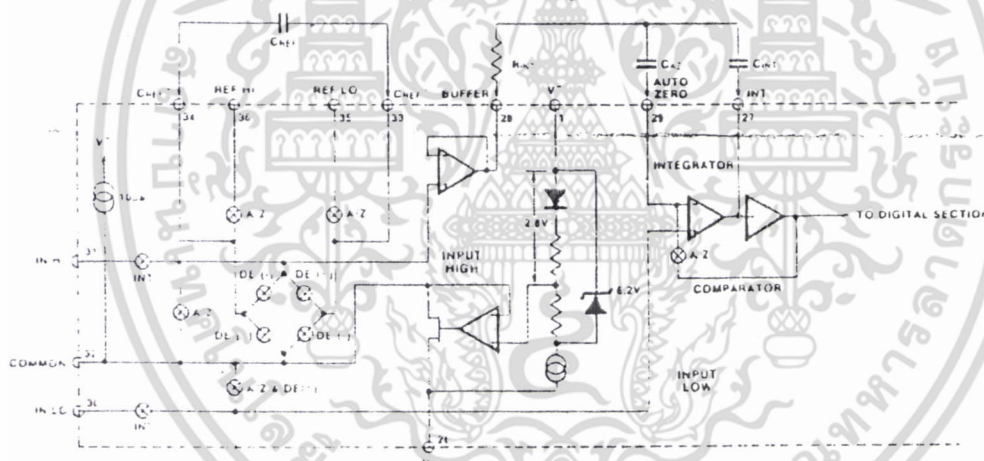


Figure 3: Analog Section of 7106/7107

Auto-zero phase

During auto-zero three things happen. First, input high and low are disconnected from the pins and internally shorted to analog COMMON. Second, the reference capacitor is charged to the reference voltage. Third, a feedback loop is closed around the system to charge the auto-zero capacitor C_{AZ} to compensate for offset voltages in the buffer amplifier, integrator, and comparator. Since the comparator is included in the loop, the A-Z accuracy is limited only by the noise of the system. In any case, the offset referred to the input is less than $\pm 0.5 \mu V$.

2. Signal Integrate phase

During signal integrate, the auto-zero loop is opened, the internal short is removed, and the internal input high and low are connected to the external pins. The converter then integrates the differential voltage between IN HI and

IN LO for a fixed time. This differential voltage can be within a wide common mode range; within one volt of either supply. If, on the other hand, the input signal has no return with respect to the converter power supply, IN LO can be tied to analog COMMON to establish the correct common-mode voltage. At the end of this phase, the polarity of the integrated signal is determined.

3. De-integrate phase

The final phase is de-integrate, or reference integrate. Input low is internally connected to analog COMMON and input high is connected across the previously charged reference capacitor. Circuitry within the chip ensures that the capacitor will be connected with the correct polarity to cause the integrator output to return to zero. The time required for the output to return to zero is proportional to the input signal. Specifically the digital reading displayed is $1000 \left(\frac{V_{IN}}{V_{REF}} \right)$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ชัชวาล โชติวารินทร์ " LM 335 ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ " เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, 79 (2531) : 159-168
2. ชูชัย ธนสารตั้งเจริญ การใช้งาน Z80, หน้า 34-75 , ฟิสิกเซ็นเตอร์, 2532
3. ประทีป บัญญัติเพิร์ต การเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี Z80, หน้า 47-71, พ.ศ. 2531
4. ยืน กุ้ววรวรรณ, วัฒนา เชียงกุล ไมโครโปรเซสเซอร์ ไมโครคอมพิวเตอร์, พิมพ์ครั้งที่ 8, หน้า 149-175, พ.ศ. 2532
5. Laventhal, L.A. Z80 Assembly Language Subroutines, pp. 356-394
6. Sen, P.C. Power Electronics, pp. 883-995, Tata McGraw-Hill, Delhi, 1988